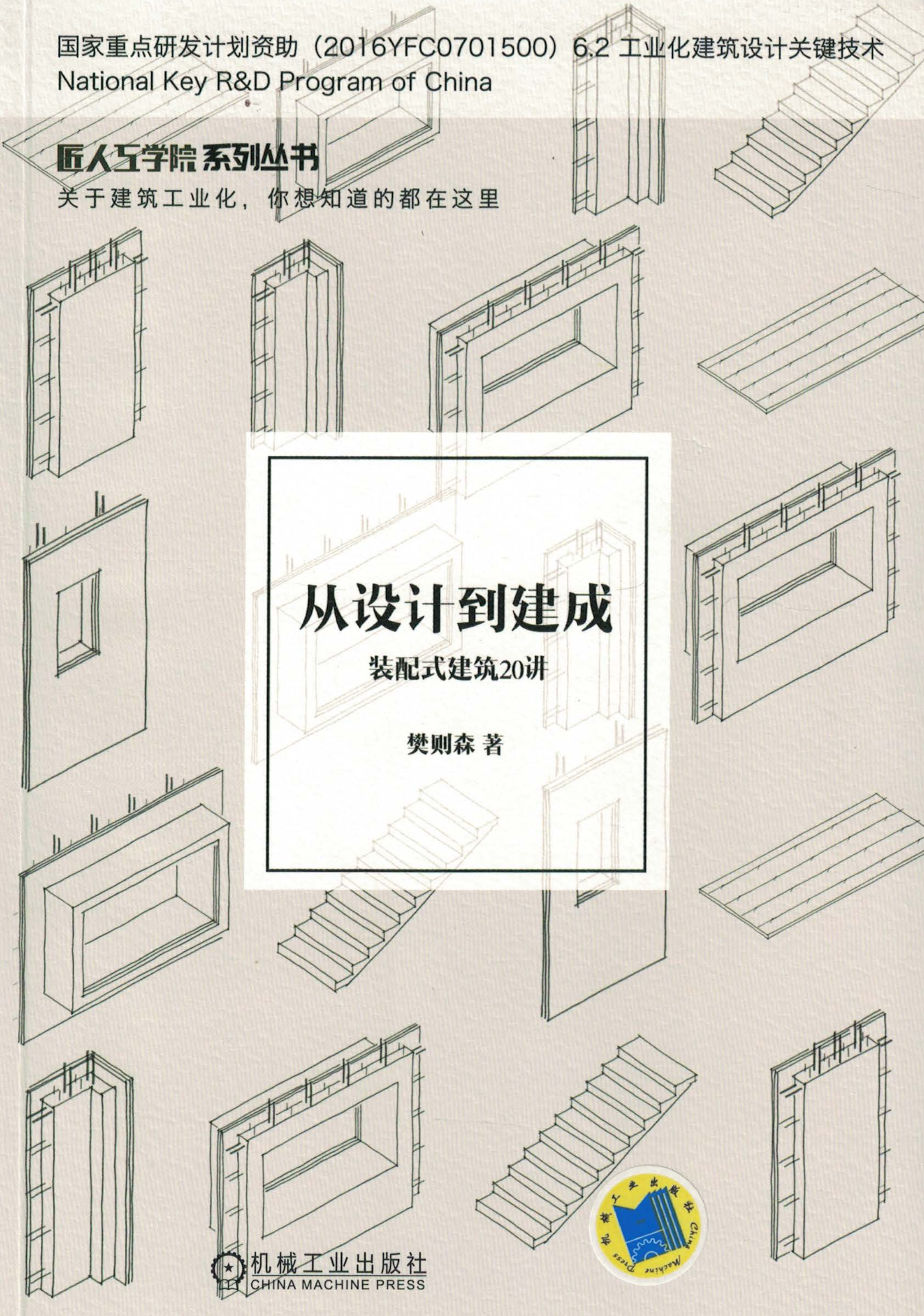
国家重点研发计划资助（2016YFC0701500）6.2 工业化建筑设计关键技术
National Key R&D Program of China

匠人工学院 系列丛书

关于建筑工业化，你想知道的都在这里



从设计到建成

装配式建筑20讲

樊则森 著

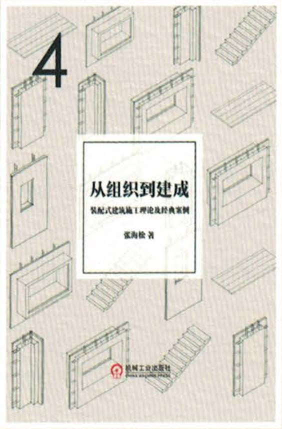
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

匠人工学院 系列丛书

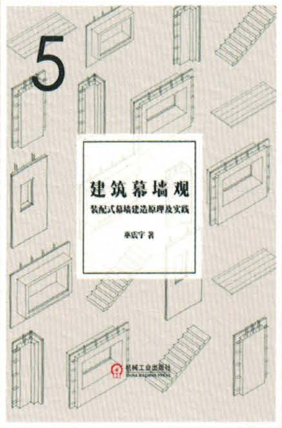
关于建筑工业化，你想知道的都在这里

建筑的工业化思维
装配式建筑职业经理人的入门课
张博为著

从技术到建成
装配式建筑关键技术的正确应用
谷明旺 著



从组织到建成
装配式建筑施工理论及经典案例
张海松 著



建筑幕墙观
装配式幕墙建造原理及实践
巫震宇 著

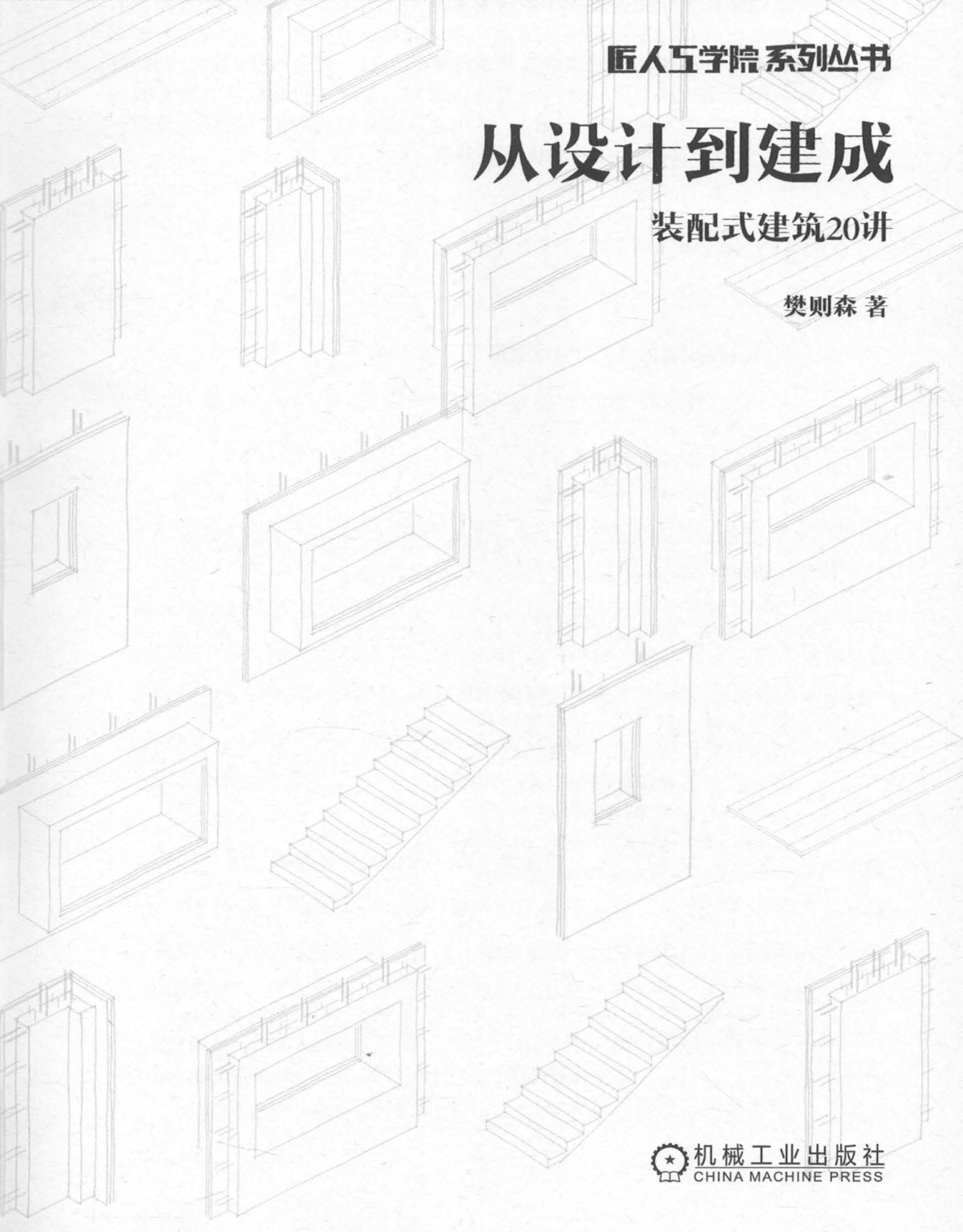
国家重点研发计划资助（2016YFC0701500）6.2 工业化建筑设计关键技术
National Key R&D Program of China

匠人工学院系列丛书

从设计到建成

装配式建筑20讲

樊则森 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书分5部分，用20堂课深入解读装配式建筑从设计到建成的相关知识。在阐述装配式建筑的产生与发展的同时，详解了装配式建筑相关的标准化设计和建造规律，从绿色、被动式超低能耗建筑、BIM、智能化建造几个方面解读装配式建筑与新技术的关系，并通过优秀设计案例解读装配式建筑从设计到建成的关键技术，从系统工程和数字营造方面对装配式建筑的发展进行了探讨。本书是从事装配式建筑的研究、设计、施工、管理人员相关工作的优秀参考书。

图书在版编目（CIP）数据

从设计到建成：装配式建筑20讲/樊则森著. —北京：机械工业出版社，2018. 6

（匠人工学院系列丛书）

ISBN 978-7-111-60235-4

Ⅰ. ①从…　Ⅱ. ①樊…　Ⅲ. ①装配式混凝土结构—结构设计　Ⅳ. ①TU37

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第128578号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：赵　荣　责任编辑：赵　荣　张维欣
责任校对：张　力　责任印制：常天培
北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷
2018年8月第1版第1次印刷
148mm×210mm · 8.75印张 · 231千字
标准书号：ISBN 978-7-111-60235-4
定价：59.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203	金　书　网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网：www.cmpedu.com

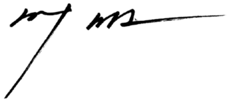
序言

一个建筑，从设计到建成的建造技术水平，是每一位建设者最为关心的话题。当建筑呈现出适用、安全、经济、美观的同时，也表达了建筑师对于这个建筑及其设计本身的思想和态度。尤其是对于装配式建筑而言，更能体现出建筑师在设计到建成的全过程中所具有的能力和水平。装配式建筑的建造过程是将建筑作为产品进行生产的系统流程，要通过建筑师对所建造产品的全过程控制，进而实现工程建造的标准化、一体化和工业化以及工程建设的高度组织化。

樊则森同志多年来一直致力于装配式建筑发展的研究与工程实践，在研究和成功实践的基础上，通过所想所做的思考升华，撰写了本书。该书围绕装配式建筑的设计及理论，针对工程建造的全过程，并结合工程建设的实践，追根溯源，全面阐述了装配式建筑的设计理念和方法，完整地反应了工程建造全过程的标准化设计方法。同时，也提出了建筑师的职责不仅是建筑设计的过程，而且是要把基本思想理念贯穿到房屋建造全过程，充分地体现了建筑师在工程建设全过程中应尽的责任和作用。这对于当前装配式建

筑发展，以及建筑业转型升级具有一定的指导意义。

本书涉及装配式建筑设计，内容全面，理论与实践相结合，有很强的思想性、针对性和借鉴性。本书最大特色在于技术性强、工程案例多、图文并茂、资料翔实，相信本书的出版发行为我国装配式建筑发展起到积极的引导和促进作用。



2018 年 3 月 14 日

前言

我从 2007 年开始参与到建筑工业化实践和研究中，受益于北京市建筑设计研究院（BIAD）60 年建筑工业化的设计积淀之深厚底蕴，老一辈建筑工程技术人员的言传身教以及北京万科拿出工程实际项目来践行实践的社会责任。当然，我和我所在团队 10 年不懈的坚持与探索，积跬步以至千里，汇涓流而成江河。10 年，给了我们今天可以总结、分享的阶段性成果，我有幸成为其中能发挥作用的积极分子，穿针引线，积累、总结、提高，做了一些通过提炼来以资借鉴参考的工作。10 年，我们创新性地研发应用了“装配式剪力墙结构建筑体系”，并在全国 6 个城市累计完成了 16 项共计 200 余万 m^2 的建筑工业化试点示范项目。

2015 年 8 月，我加入中建科技有限公司，专职从事装配式建筑的绿色、智慧、科技研发、设计、生产、装配一体化工作，开启再次创新创业的新征程。2016 年 2 月 6 日，中共中央、国务院印发了《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，要求“积极推广应用绿色新型建材、装配式建筑和钢结构建筑。力争用 10 年左右时间，使装配式建筑占新建筑比例达到

30%！”装配式建筑作为建筑业实现工业化、绿色化、信息化的重要抓手落地生根，成为重要的国家战略付诸实施。沐浴着国家政策的春风，同年 6 月，本人代表中国建筑股份有限公司承担了国家“十三五”重点研发计划“绿色建筑和建筑工业化专项”中很有挑战性的重点研发项目——“6.2 工业化建筑设计关键技术”。如今研发时间已然过半，在前期研发工作中，我越发觉得将这十年在建筑工业化设计实践中的成果整理、编撰成书，对于大家普遍关心的如何做好工业化建筑的设计，以及如何把控好从设计到建造的全过程工作有一定的借鉴意义。因此，本人收集整理了这十年的工程实践案例、资料、图纸、文件，结合自己的所思所想，撰写此书，奉献给当前方兴未艾的绿色、智慧、科技型装配式建筑事业；奉献给愿意一起为“科技引领建筑未来”而奋斗、共同提升建筑业的科技含量、让建筑业跟上时代科技进步步伐的同梦者和同行人。

装配式建筑是个系统工程，我们发展装配式建筑要“向制造业学习”。首先应该向制造业一样建立起“系统工程”的理论基础和方法，将装配式建筑当作一个整体来研究和实践。将装配式建筑看作一个复杂的“系统”，用建筑系统的设计方法实现建设对象若干子系统的“集成”。其次要向制造业一样将建筑作为产品，进行系统性的生产组织，对所建造产品的全过程控制，进而实现工程建造全过程符合工业化要求的标准化、一体化以及高度组织化。第三，作为建筑师，我们要在工程建造全过程中，承担起关键性的系统性统筹作用，不仅统筹建筑设计的过程，而且要贯穿房屋建造全过程，充分发挥建筑师在工程建设全过程中，从设计到建成应尽的责任和作用。

能成此书，我最想的就是感谢。

感谢曾经一起奋斗过的马涛、杜佩韦、王炜、杨帆、张艾荣、刘昕、杜娟、

谭瑞娟等老同事、小伙伴，这些工作是我们共同的成果，其中很多图文资料都得益于各位提供。感谢至今仍然一起追梦的李文、李新伟、蒲华勇、徐牧野、张玥，除了曾经的故事，我们还有清晰的远方。感谢岑岩多年和我之间“建筑系统工程”的思想碰撞、讨论、启发。感谢文林峰女士邀请我参加《保障性住房卫生间标准化设计和部品体系集成》和《保障性住房厨房标准化设计和部品体系集成》“十二五”国家重点图书编写。本书的第八讲，关于保障性住房厨房、卫生间模块的主要内容就来源于该书我负责主撰的第四章和第六章。感谢卢求先生发表在建筑工业化装配式建筑网上的精彩案例，通过借用这些案例，更加支持了本书的观点。感谢叶浩文先生的知遇之恩，以及“三个一体化”发展思想对我近两年学术思想的提示与升华。

樊则森

2018 年 4 月 26 日于深圳

目录

序言

前言

第一部分　装配式建筑溯源 001

第一讲　木作之制——中国古代木构建筑中的装配式 002

第二讲　砖石建构——换个角度看罗马 015

第三讲　图说典范——北京 1959~1992 年的装配式建筑 024

第四讲　技术之美——装配式建筑的魅力 040

第二部分　标准化设计 055

第五讲　再学再思——建筑标准化新解 056

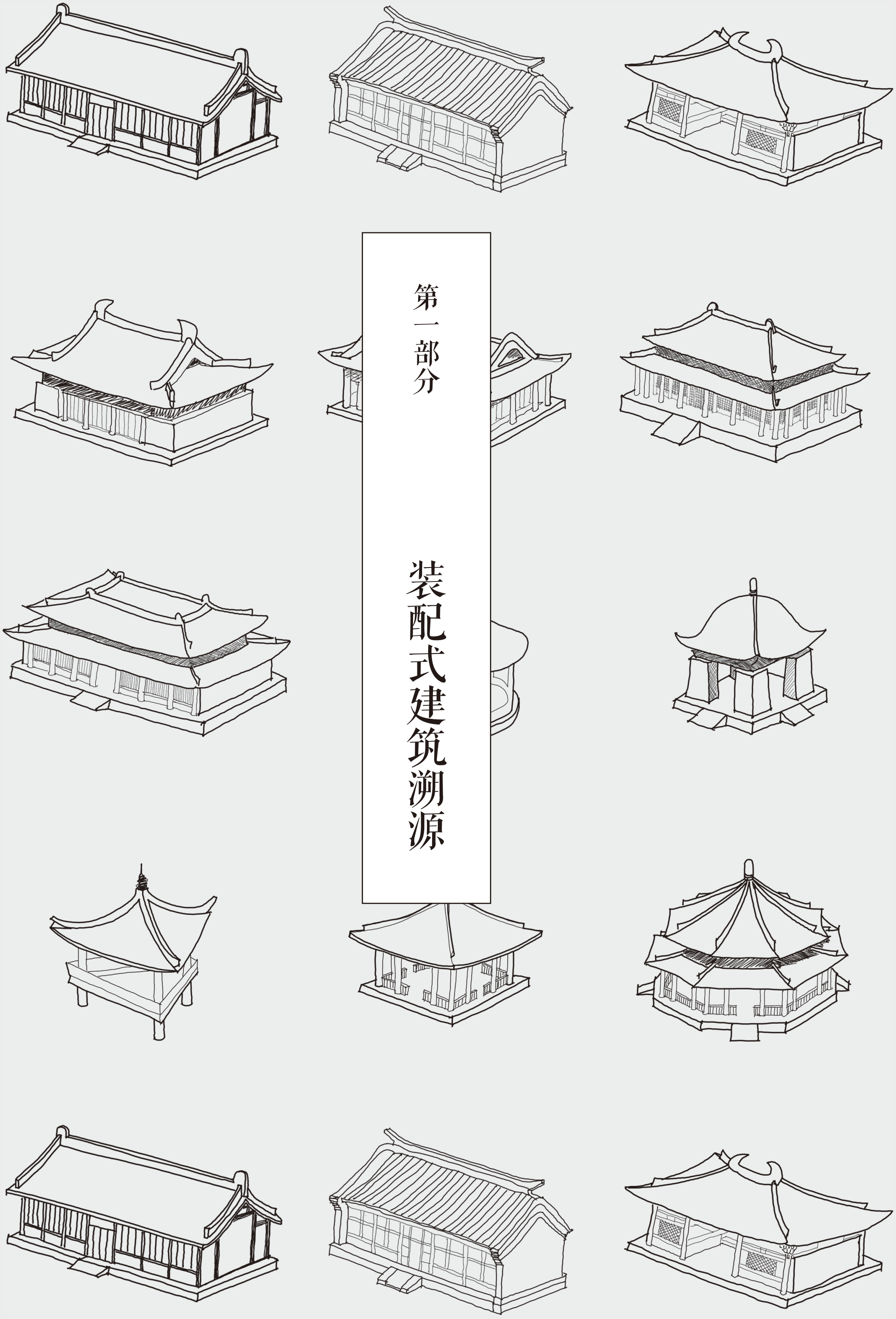
第六讲　集成设计——装配式建筑设计要点 061

第七讲　模数协调——装配式建筑集成设计规则 074

第八讲　模块组合——保障性住房厨房卫生间模块标准化设计 080

第九讲　系统思维——北京市装配式公租房『标准化设计』整体解决方案 104

第三部分 装配式+ 139
第十讲 装配式+绿色 140
第十一讲 装配式+被动式超低能耗建筑 150
第十二讲 装配式+BIM 165
第十三讲 装配式+智能化建造 185
第四部分 从设计到建成 197
第十四讲 十年探索——2007~2017年建筑工业化历程 198
第十五讲 实践之一——万科假日风景住宅工业化技术运用 216
第十六讲 实践之二——塑造装配清水 226
第十七讲 实践之三——公租房的『实惠』设计 236
第十八讲 实践之四——设计统筹在工程总承包项目中的实践应用 246
第五部分 系统工程及数字营造 257
第十九讲 系统工程——装配式建筑系统工程理论初探 258
第二十讲 数字营造——『互联网+』时代的建造方式 265
参考文献 270



第一部分

装配式建筑溯源

○ 第一讲 木作之制——中国古代木构建筑中的装配式

人类社会历史传承上影响深远的两大建筑体系，其一为以希腊罗马为代表的西方古代砖石结构建筑体系；其二为以中国古代建筑为代表的东方木构建筑体系。正如梁思成先生在《中国建筑史》“代序”中对中国古代建筑评价道：“中国建筑既是延续了两千余年的一种工程技术，本身也造成一个艺术系统。”在该书中，梁思成 “略举”了中国古代木构建筑体系的四大主要特征：

（1）以木料为主要构材。

（2）历用构架制之结构原则。

（3）以斗拱为结构之关键，并为度量单位。

（4）外部轮廓之特异。

建筑业要转型发展，一方面需要继续传承中华建筑文化之精要，梁思成的这四大主要特征是学和用的基础。另一方面，站在新时代的发展需求，带着时代命题去再学习、再研究，必然要有新的内容。因此，本讲试着从装配式建筑技术的角度，从以下 6 个方面来解读中国古建的“木作之制”。

一、基于材料特性的标准化设计

宋《营造法式》通过“材有八等，度屋之大小，因而用之。”界定了“材”的规格和建筑规模大小的关系。营造法式规定了八个等级（或规格）的材，用于建造不同等级（或规模）的建筑，如图 1-1 所示。

一等材：广九寸，厚六寸。殿身九间至十一间则用之。

二等材：广八寸二分五厘，厚五寸五分。殿身五间至七间则用之。

三等材：广七寸五分，厚五寸。殿身三间至五间或堂七间则用之。

四等材：广七寸二分，厚四寸八分。殿三间、厅堂五间则用之。

五等材：广六寸六分，厚四寸四分。殿小三间、厅堂大三间则用之。

六等材：广六寸，厚四寸。亭榭或小厅堂皆用之。

七等材：广五寸二分五厘，厚三寸五分。小殿及亭榭等用之。

八等材：广四寸五分，厚三寸。殿内藻井或小亭榭施铺作多则用之。

单体建筑的规模通过“间”来界定。“间”数越多，规模越大、等级越高，

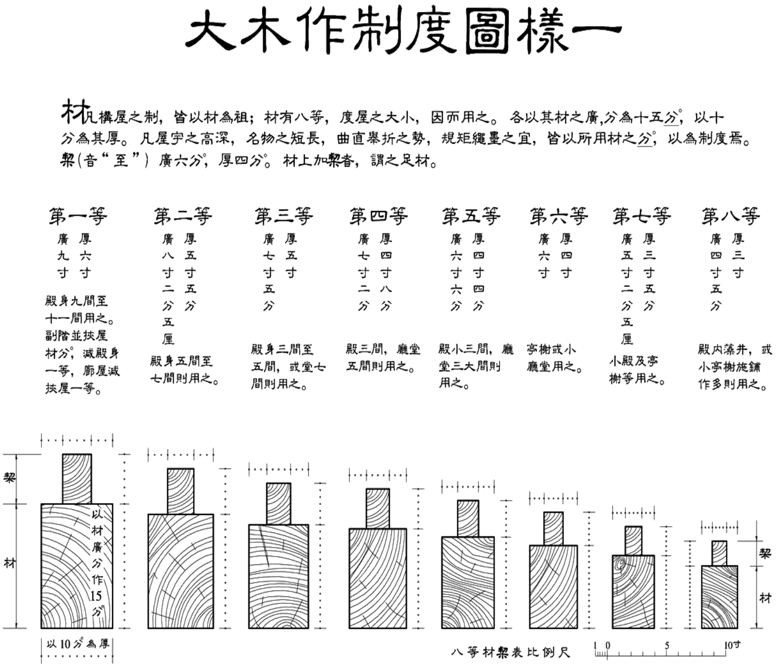


图 1-1　大木作制度图样——材分八等（引自梁思成《营造法式注释》）

建筑所用的材就越大。表1-1中一等材的断面为9×6寸，正好是八等材4.5×3寸的两倍。中间的六种不同的“等材”按定尺的渐变数列选择，体现了建筑标准化中非常重要的模数及模数协调原则。《营造法式》中所规定的各类固定比例的构件，就像今天装配式建筑的标准构件，仅需按图索骥，即可用于建造。

表 1-1　不同材等对应的规格尺寸

	一等材	二等材	三等材	四等材	五等材	六等材	七等材	八等材
广（寸）	9.00	8.25	7.50	7.20	6.60	6.0	5.25	4.5
厚（寸）	6.00	5.50	5.00	4.80	4.40	4.00	3.50	3.00
适用范围（间）	9~11	5~7	3~7	3~5	3	亭榭	小殿	内藻井等辅作

二、通过“构架制”组合成“梁柱式结构”

按“材分制”实行的标准化设计中，“间”是重要的度量单位。前面说到中国古代建筑单体的规模大小是通过“间”来确定的，13 间最大，3 间最多见，分别对应为不同使用功能和等级，如图 1-2 所示。“间”还是一个三维概念，其进深方向用“枋”连接，开间方向用“梁”层层重叠联系为“梁架”，并逐级增高为“举折”。这样就形成了一个依靠立柱和梁枋承担所有上部荷载的结构单元，其构件之间多采用榫卯连接。内外墙或土垒、砖砌、木板、门窗分隔，均为今天我们所述的“非承重墙”。这种木构的梁柱式结构和我们今天的装配式钢结构框架非常类似，都提供了一个结构概念清晰并便于灵活分隔使用的建筑空间，如图 1-3~ 图 1-5 所示。

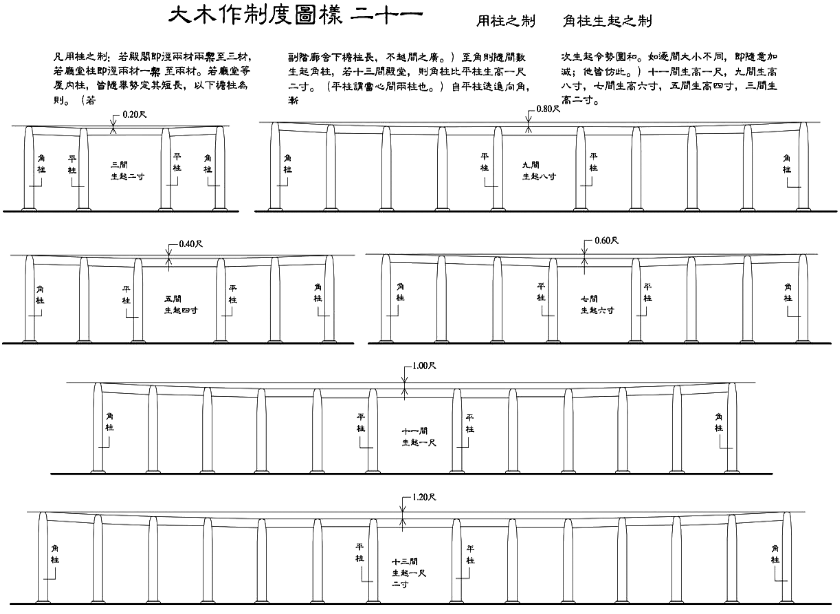


图 1-2　大木作制度图样——用柱之制（引自梁思成《营造法式注释》）

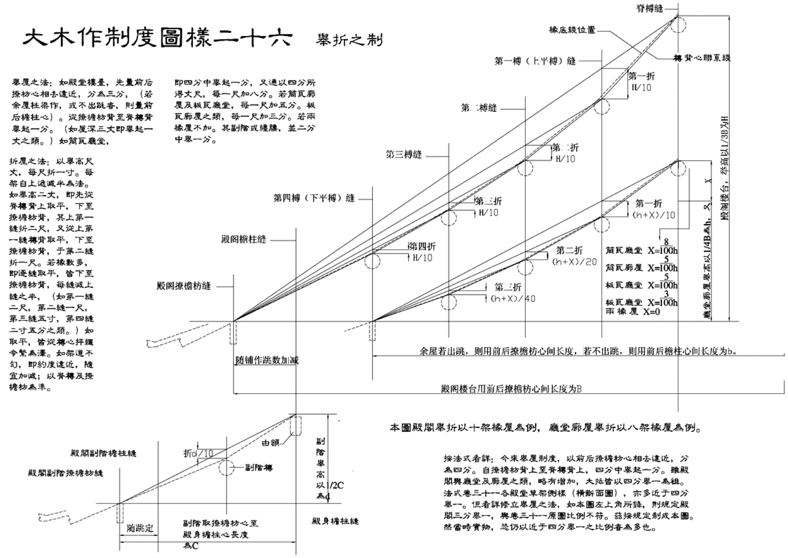


图 1-3　大木作制度图样——举折之制（引自梁思成《营造法式注释》）

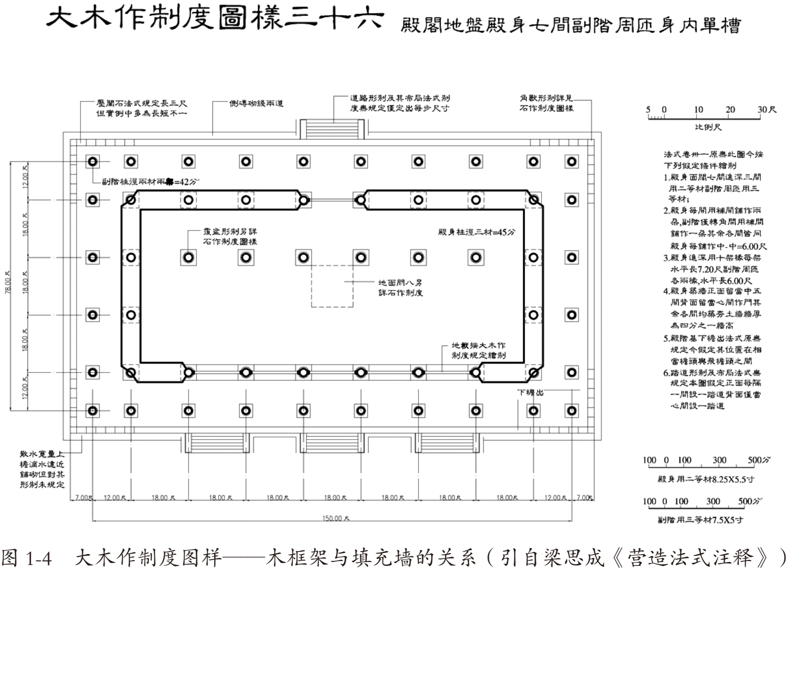


图 1-4　大木作制度图样——木框架与填充墙的关系（引自梁思成《营造法式注释》）

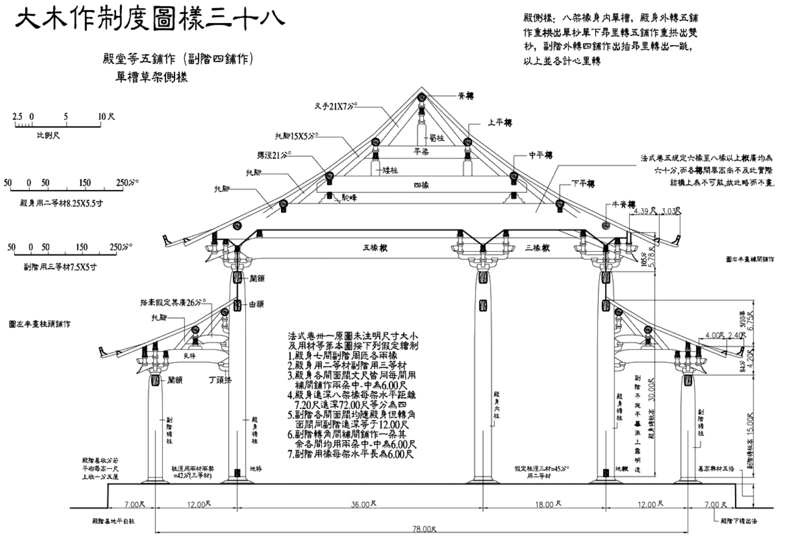


图 1-5　大木作制度图样——框架结构剖面（引自梁思成《营造法式注释》）

三、斗拱充当了木构屋顶和木构梁柱间的“接口”

梁思成在《蓟县独乐寺观音阁山门考》中指出：

> 斗拱者，中国建筑所特有之结构制度也。其功用在梁枋等与柱间之过渡及联络，盖以结构部分而富有装饰性者，其在中国建筑上所占之地位，犹 order 之于希腊罗马建筑，斗拱之变化，谓为中国建筑制度之变化，亦未尝不可，犹 order 之影响欧洲建筑，至为重大。

林徽因在为梁思成《清式营造则例》（1934 年）一书所作的“绪论”中进一步发挥了以上论断：

> 斗拱不惟是中国建筑独有的一个部分，而且在后来还成为中国建筑独有的

> 一种制度。就我们所知，至迟自宋始，斗拱就有了一定的大小权衡；以斗拱之一部为全部建筑物权衡的基本单位，如宋式之“材”“契”与清式之“斗口”。这制度与欧洲文艺复兴以后以希腊罗马旧物作则所制定的 order，以柱径之倍数或分数定建筑物各部一定的权衡（proportion），及相类似。所以这用斗拱的构架，实是中国建筑真髓所在。

可见斗拱是预制的木柱与梁枋间重要的连接节点。也就是构件装配的重要“接口”。这个接口按一定的模数规则设计，是可变的。一方面是时间维度的变化：唐、宋、元、明、清均有不同的款式和做法，体现出不同的时代特征和建筑形制的演变。另一方面是不同地域的变化，我国的南北东西，不同地方都有其不同的形式，甚至影响到东亚的朝鲜、韩国和日本，东南亚的越南，也发展出其特有的新形式。当然，也包括几何维度的变化，不同的规模决定了“材分”的不同，斗拱的形式也有变化，如图 1-6~ 图 1-8 所示。这些变化，也充分证明了标准化不是僵化的，而是多样化、可以发展变化的。

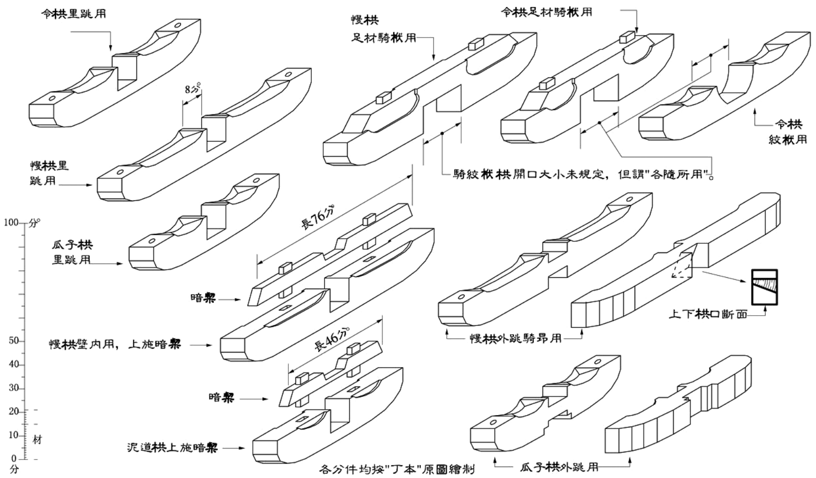


图 1-6　大木作制度图样——斗拱组合示意图（引自梁思成《营造法式注释》）

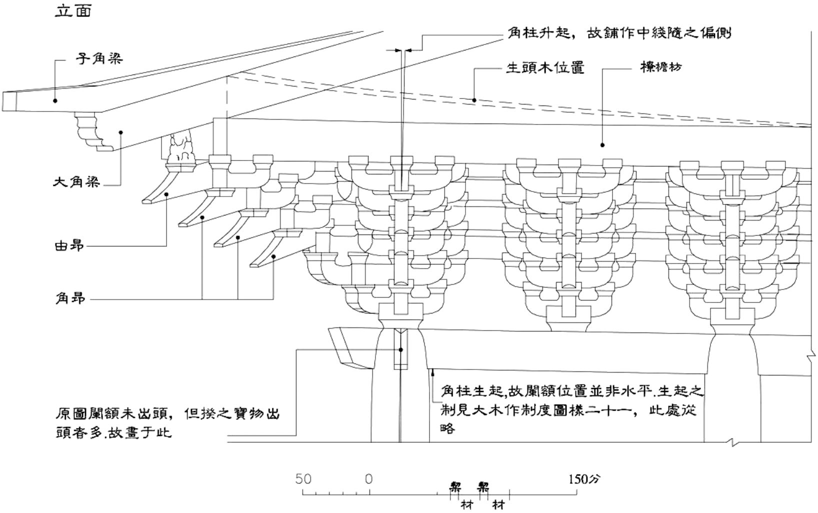


图 1-7　大木作制度图样——柱、梁、斗拱、屋顶组合示意图
（引自梁思成《营造法式注释》）

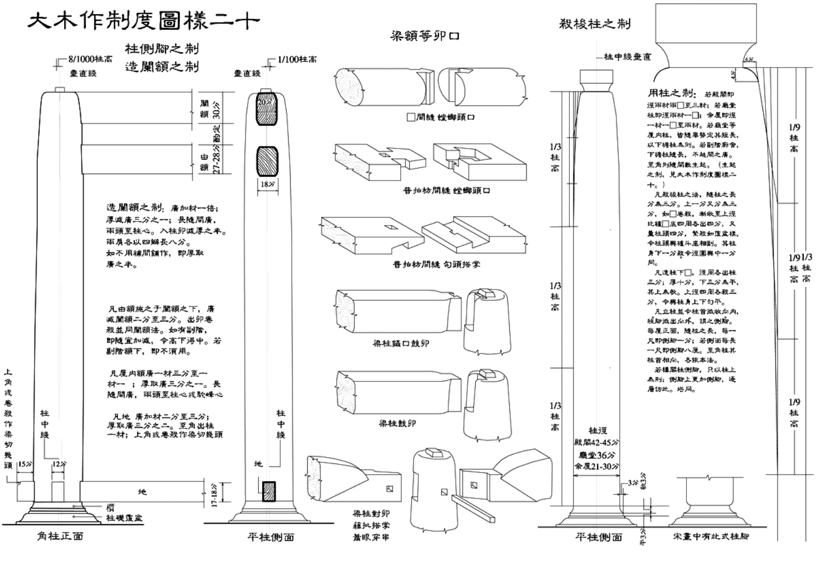


图 1-8　大木作制度图样——柱、梁组合示意图（引自梁思成《营造法式注释》）

四、院落、台基、出檐、色彩，标准化前提下的多样化

中国古代建筑基于“材分”之制，形成了标准化程度极高的系列化的建设标准，按照等级、功能、规模等形成了高度、宽度、进深和结构大小多样的建筑单体并组合成建筑群落。经过两千多年的发展，并没有千篇一律的单调，相反形成了主次分明、统一和谐的典型建筑空间和风格。这种标准化前提下的多样化，对我们今天尤其具有借鉴意义。

1. 院落

通过院落来组合单体建筑形成建筑群，是中国建筑的典型特征。建筑群中的主次、尊卑和等级，往往也是通过“材分八等”来体现。以独乐寺为例，观音阁主体正殿用一等材，平坐用二等材；而山门略高于二等材。这种既是模数制又是等级制的“材分制”，确保了建筑群体组合中，建筑的主次关系一目了然，最终形成建筑群的整体和谐，此为中国建筑群体组合之经义。

我们可以将 3 间、5 间、7 间、9 间、11 间、13 间的不同规模的单体建筑，看作一个用模数数列控制的模块序列，其规格尺寸由结构主材的断面决定。古建群落规划设计的过程，实际上就变成了用上述模块序列进行多样化组合的过程。

2. 屋顶

中国传统称房屋为“屋宇”，其中的“宇”，系指建筑的屋顶，“宇”在中国传统建筑中是非常重要的存在，其代表中国传统的“反宇向阳”的建筑哲学，向上中间凹两头翘的屋顶与大地之上的天宇一阴一阳，相互交融，

浑然一体，人的主体也融合在天地之中，彰显了“天人合一”的传统哲学观。屋顶，其屋顶坡面、脊端、翼角、转角等各种曲线既是结构工程的必然，也是“上尊而宇卑，则吐水疾而霤远”的排水功能之需求，还是建筑美学重点关注的对象，作为建筑的“冠冕”，具有形式美的重要功能。中国木构建筑屋顶的形式很多，有悬山、硬山、庑殿、盝顶、歇山、卷棚、重檐、盔顶、圆攒尖、三角攒尖、四角攒尖、八角攒尖等，都是用符合材分制的构架系统和斗拱来承载，如图 1-9 所示。

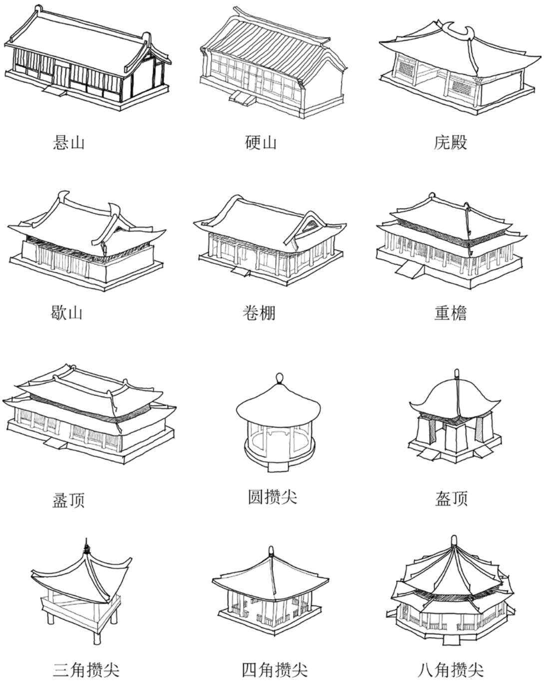


图 1-9　多样化的屋顶形状

3. 台基

中国建筑的阶基，发端于木构建筑防水、防潮的功能需要，发展于秦汉宫室建筑需要通过尺度巨大的高台榭宇来体现王权、突出其统治权威的形式需求。与大屋顶互为呼应，也是重要的形式特征。比较典型的是唐大明宫含元殿、丹凤门、麟德殿，其柱础之下的高台体现出不同的形式。清故宫诸殿，均用三层白石台基，白石栏杆，殿身的台基大部分作须弥座，雕塑华美，体现出庄严华美的形式感。这些台基的建造方式，体现了当时中国砖石砌体的建筑水平，其栏杆、基座、台阶、铺装等，均通过专业化的加工生产，在现场装配施工而成，与西方的传统砖石砌体建筑有很多相近之处，可做

一些文化和建筑技术方面的比较研究。

4. 色彩

中国古代建筑有一套完整的色彩使用标准制度，比如屋顶的色彩有黄色、蓝色、绿色、灰色等，并规定了其在不同等级建筑中的适用范围，尤其以北京城最为典型。故宫是最为显赫的，用黄色琉璃，其中地位较低的建筑使用绿色屋顶，普通的民宅用灰色，天坛作为国家祭天的场所，用蓝色的琉璃瓦，体现对“上天”的尊重。

五、基于手工业的社会化分工与产业聚集

我国古代建筑业是传统工匠聚集的产业，在长期的实践中有了专业化的分工，形成了专业工匠之间协作建造的完整的产业链。宋《营造法式》中记载的至少有石作制度、大木作制度、小木作制度、瓦作制度、彩画作制度、雕作等，甚至包括估工算料方法，体现出当时建筑行业专业化的分工，已经涵盖了砖石加工、木构加工安装、屋顶瓦作、建筑彩画、建筑雕塑甚至造价等相关专业。而且已经产生了如“绫锦院、筑院、裁造院、官窑”等专业机构，形成了一定的产业聚集。

清工部《工程做法则例》中，自土木瓦石、搭材起重、油画裱糊、铜铁件安装等 17 个专业、20 多个工种都有条款明细的规程。说明了当时建筑产业的专业细分已经达到了比较高的程度。明清时期的建筑产业聚集还可以从北京地名一窥究竟：台基厂就是明代的石材加工厂；琉璃厂就是元代烧制琉璃的官窑；铜铁厂胡同是铜器铁器制作交易之所；方砖胡同是皇宫制造方砖的工厂；砖儿胡同建于明代，是华北地区制作、出售砖的行业聚集地；

石板胡同因为著名的石材店而得名；锡拉胡同主要生产锡灯、蜡台；还有明代内官监所属的油漆作所在，得名油漆作胡同。在清代，还出现了专门主持宫廷建筑设计的样式雷家族，绘制了大量的建筑图样，还留下了很多精美的“烫样”（模型）。从设计、部件供应到各类作坊，围绕北京城市建设的需要，形成了基于手工业时代，木构建筑相关的社会化分工与产业聚集。

六、衣钵相传的标准设计，通过官式建筑形成文献资料得以传承

在上述社会化分工中，也形成了代代相传、持续演进、系统全面的标准设计。中国木构建筑之术在我国俗称“匠学”，主要依靠言传身教，以师徒相授，衣钵相传。很少有文人士大夫对其归纳总结，以文字图画记录下来作为知识广泛传播。即便如此，中国在宋清两朝，形成了官方的“标准设计”，即大家都熟知的宋《营造法式》和清工部《工程做法则例》，主要起到相当于今天的建筑规范和设计手册的作用。可以理解为通过对工程建设经验的梳理和总结，形成集官式建筑的标准、规范和工程做法于一体的“标准设计”。

宋《营造法式》由宋徽宗朝将作监（皇家建筑营建的主管官员）李诫编著，他通过考究当时留存的图书资料，并走访经验丰富的工匠。在继承和归纳历代营造原则的基础上，总结了北宋徽宗时期的官式建筑做法。

总之，装配式建筑古已有之，在中华民族的传统建筑文化中，代表了其建筑技术和艺术的高度融合，是人类建筑先进文化和先进技术在东方的典范。一方面，中国古代的木作之制，通过模数、形制、接口、法式等标准化设计手段，建立了一套系统的基于木构建筑的标准化体系，并成功地演绎为

涵盖中、日、韩、越等东亚国家的国际化的通用标准。该标准虽然仅仅只是在工匠圈中口口相传，但构建了与当时生产力水平相匹配的区域性产业圈和产业链，是延续了两千余年的先进的工程技术。另一方面，中国古代的木作之制，从工程技术升华为中华建筑文化和艺术。其斗拱、举折、飞檐、彩绘、空间、木雕、群落、园林等，构成了人类建筑史上两大建筑艺术系统之一的东亚木构建筑体系。在历史长河中，在不同的时间，衍生了秦汉、唐、宋、元、明、清等不同年代，演变出北京、江南、徽派、岭南、川蜀等不同地域为代表的不同派别的中国传统建筑多样化风格，是中华优秀建筑传统文化的典型代表。其在建筑技术和艺术方面的成就，值得我们结合新时代建筑科技，积极创新发展，为实现中华建筑文化的伟大复兴贡献建筑智慧。

○ 第二讲 砖石建构——换个角度看罗马

人类建筑文明 “伟大归于罗马”，据说罗马帝国征服世界的时候，罗马军团走到哪里，总督、官吏、商人和建筑师就走到哪里，建筑师在那个时代是帝国的精英和支柱。罗马建筑深刻地影响了欧洲、非洲和亚洲大陆。在人类建筑史，关于罗马建筑的文献很多，不过很少有从装配式的生产方式和建构的系统性角度去理解的。其实罗马的砖石建筑具有非常典型的“工厂（作坊）加工，现场装配”的特征，下面用几个小片段来“换一个角度看罗马”。

一、古罗马砖石建筑的构成

古罗马建筑的典型特征是天然石和砖砌筑的拱、券、穹隆和圆顶等结构形式加上制作精美，模数严谨的罗马柱式。在其辉煌的外观形象和几何构图

外表之下，其内在的建构逻辑往往不被建筑史学界重点关注，没有从柱式的表象深入到其建构本质，我们需要知道古罗马建筑是怎样建成的。

图 2-1　古罗马城遗址 1

古罗马主要采用的建筑材料有石料、砖和天然混凝土，结构形式主要是砖石砌体结构，多数公共建筑多采用内部用砖砌体，用拱券、穹顶等形成空间，外部用石砌体围护并通过罗马帝国的各种柱式形成完整的建筑形式。

仅剩几段精美的科林斯柱式的废墟，大量的砖砌体遗址，可以窥见古罗马建筑以砖砌体为基础，外部包覆方石砌体及柱式的建构特点，如图 2-1 所示。

图 2-2　古罗马城遗址 2

罗马柱式是典型的“装配式”建筑，柱础、柱身都是加工后现场装配而成，如图 2-2 所示。

建筑大量用砖砌体，据说古罗

图 2-3　古罗马城遗址 3

图 2-4　古罗马城遗址 4

马的很多建筑遗迹都是被后来的建筑工程当作了“采石场”，这种“外石内砖”的建构方式，在精美的块石砌体被破坏之后表露无遗，如图 2-3 所示。

古罗马建筑中的整石墙或方石砌墙，以方石交替摆放的“丁顺砌筑法”模式砌筑，门洞往往采用石拱的形制，石拱多采用楔形的石砖，每一块砖都是精密切割而成，砖和砖之间几乎天衣无缝。而这些楔形石砖通过柱头过渡到下部支撑的石柱，各类构件之间的数学关系，一直都是建筑史研究的重点，如图 2-4 所示。

二、罗马砖石建筑的模数系统

通常对罗马建筑模数制的理解，止于其柱式美学逻辑的模数应用，这种应用在希腊甚至更早的时期就已经存在，并一直发展到后来的文艺复兴时期，在巴黎美术学院一统建筑江湖的时期发展到了极致。

换一个角度，从模数服务于构件组合的需要来看，古罗马建筑内在的模数系统有可能是依据石件和砖等砌块及部件的模数来制定的。或者也可能认为，古罗马建筑严谨的柱式及其形制法则，决定了与之相配套的建筑部品生产能够按精密的几何尺寸加工符合需要的预制构件。

古罗马的很多建筑都是以砖砌体为主要的受力部分，外部包覆石材饰面。砖石之间形成了精美的模数协调关系，如图 2-5 所示。

图 2-5　古罗马城遗址 5

前面是柱廊，后面是大理石墙体，规整的方石砌体按照严谨的模数“嵌入”两个柱子之间。这种“数学之美”是装配式建筑的特征之一。柱身间的拼缝暴露出预制装配的痕迹，如图 2-6 所示。

图 2-6　古罗马城遗址 6

砖石砌体建筑，用了预制的

图 2-7　罗马建筑构件组合中的尺寸协调

柱、过梁、窗套、栏杆、屋顶挑檐等，中间做抹灰和涂料的部分非常巧妙地调节了构件安装和制作的偏差。罗马建筑有乱石砌，方石砌，还有两者相结合的做法，在乱石砌的部位多采用抹灰和涂料，有点类似模数协调中的“模数中断区”，能确保标准化的预制构件在建筑整体中的尺寸协调，如图 2-7 所示。

三、砖与石的系统建构

罗马建筑注重建筑形式的材料表达，每一栋罗马的建筑，几乎都离不开砖、石和混凝土，这些砖是砖窑生产的，石料是采石场及石匠按照柱式规则和建筑师的要求加工的，它们之间通过天然火山灰制成的混凝土连接成完整的建筑。所以看罗马建筑，可以将其当作预制的砖石部品部件在现场砌筑装配而成的建筑。

罗马重要的公共建筑尤其是教堂、神庙等，大多采用全石材建造。我们可以将其看作“全石材系统”，浑然天成，这些建筑往往都有比较固定的“形制”。即罗马“柱式”，译作“order”，是以柱径为单位，相互协调并具有数学关系的一套完整的科学系统，如图 2-8 所示。

某纪念性建筑全方石砌筑的精美细部，密缝看出方石严谨的组合、装配关系。可以窥见罗马建筑对几何美学、数字美学的追求，工艺的极致还有预制构件、部品部件应用时的相互配合与协调，如图 2-9 所示。

古罗马的砖石砌筑方式主要有“方石砌和乱石砌”两种，其中，“方石砌”对整体模数和几何尺寸控制有比较严格的要求，是建筑整体的“骨架”，而“乱石砌”则充当了填充体的角色，在整体尺寸协调上作用也非常大，如图 2-10 所示。

从左至右，方石砌、乱石砌、全预制石拱桥、乱石砌（外覆抹灰），构成一组建筑及街道的关系，如图 2-11 所示。

罗马斗兽场的看台是通过下部的砖拱实现的，砖拱结合了一些口部的柱式、块石基础，地面也铺装了很多大理石。这张照片可以清晰地看到砖拱部分与常规砌筑部分的转折关系，如图 2-12 所示。

图 2-8　全石材建筑的“形制”

图 2-9　精美的构件组合

图 2-10　方石砌＋乱石砌

图 2-11　各种砌筑方式间的协调 1

图 2-12　各种砌筑方式间的协调 2

罗马大斗兽场，外围突出纪念性、装饰性，用石拱，其间装饰经典的三种罗马柱式：自下而上分别为罗马柱式、爱奥尼克柱式和科林斯柱式，上部采用“方石砌”，如图 2-13 所示。

罗马大斗兽场采用砖砌拱券，既满足了支撑上部看台的需要，又满足了下部交通和使用的空间需要。在遗址中可以看到砖的各种砌筑方法：清水砖

丁顺砌、清水砖拱、装饰砖墙、乱砖砌等，如图 2-14、图 2-15 所示。

模块化装配的陶制构件，遵循部品组合，并按模块的几何尺寸作为基本模数，控制花格窗的净尺寸，如图 2-16 所示。

各种“全方石”“乱石”“方石 + 乱石”“方石 + 清水砖”的建构方式，在罗马旧城中形成了整体统一，而又风格多样的城市风貌。如果用这些方石、标准砖和部品类比我们今天的预制构件、部品，可以看到建筑的“标

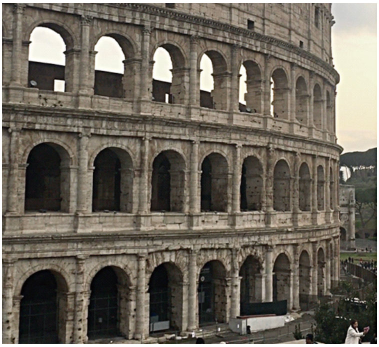


图 2-13　古罗马大角斗场外观

图 2-14　古罗马大角斗场

图 2-15　砖砌体细部

图 2-16　花格窗细部

准化”与形式的“多样化”并不矛盾，两者是能够做到对立统一、共生协调的，如图 2-17 所示。

换个角度看罗马，罗马辉煌的建筑实际上是由石 + 砖 + 混凝土建成的。石，成为柱式，在建筑外面以 “order” 方式展现；砖躲在石的后面，实质上是建筑的主体，主要通过混凝土成为了拱券、穹顶等；混凝土则是其中重要的建筑材料。

罗马建筑的历史实质上就是砖石建构大行其道的历史，换个角度来看，在时光的积淀下，这种建造方式已经形成了一整套系统的，有关砖、石、混凝土一体化建造的技术体系，并做到了其所处时代的最优。

图 2-17　罗马城现状

〇 第三讲 图说典范——北京 1959~1992 年的装配式建筑

北京市的装配式建筑不仅仅只有“大板建筑”，而是我国装配式建筑实践最早，案例最多，类型最丰富的城市，本讲用收集的一些历史资料分享、证明。

一、最早的装配式建筑——北京民族饭店

民族饭店于 1959 年建成，是我国第一座高层装配式框架结构的建筑。

张镈先生在 1984 年的《建筑学报》第九期《回顾与前瞻——国庆随想》一文中回顾：“在 20 世纪 50 年代末期，通过吃堑长智，在大型宾馆向现代化发展上已迈出一步，跻于先进之林。结构、施工采取全装配体系，也迈

开了新步。”民族饭店由于要满足首都接待人民代表大会代表的功能，工期倒排，边设计边施工，施工与设计密切协作，采用装配式框架结构，短短十个月就完成了工程，如图 3-1、图 3-2 所示。

为了简化构造及利于抗震要求，基础、地下室、一层及部分二层采用现浇钢筋混凝土结构（看来当时的抗震设计和当前 JGJ 12014 规范中“底部加强区”的规定很相近）。标准层（3~10 层）都采用了装配式结构，装配化程度达到 60.47%。所有装配的构件都是在预制厂制作完成。（很遗憾，笔者尚未考证出其预制方法），如图 3-3、图 3-4 所示。

图 3-1　民族饭店建成时旧景

图 3-2　民族饭店建成时入口细部

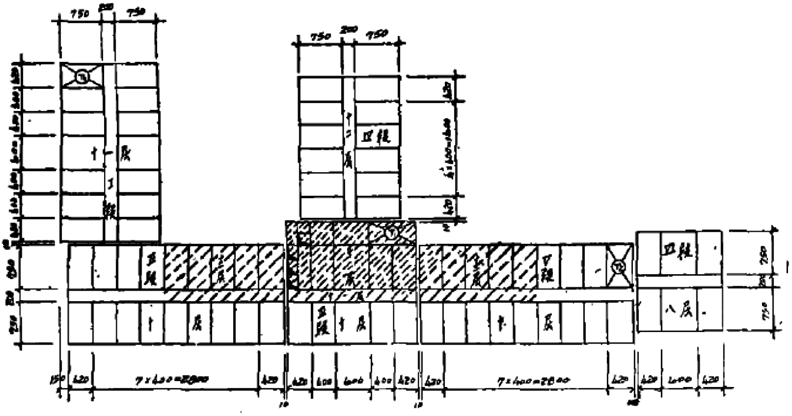


图 3-3　结构平面图（斜虚线表示现浇部分）

图 3-4　经过改造后还在使用的民族饭店

节点连接采用全干式节点，装配式框架结构外柱 2 层一根，整间密肋大楼板，接头焊接，从当时工地的照片以及图纸资料可以看出是在预制柱与梁的节口部位预埋了型钢作为结构传力构造节点。在建国初期就有这种“钢和混凝土组合结构”干法连接的装配式建筑，说明当年新中国建筑一起步就已经具备国际先进的技术水平，如图 3-5~ 图 3-8 所示。

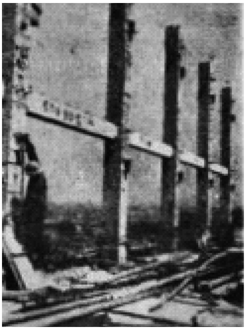


图 3-5　两层预制框架在施工

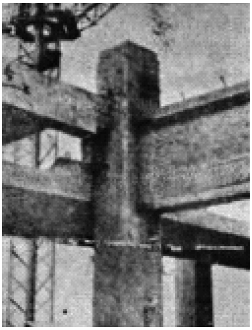


图 3-6　外柱和梁连接节点

图 3-7　梁柱节点细部

图 3-8　新民族饭店外景

民族饭店显露出了预制装配式建筑与现浇建筑相比的多项优点：

（1）工期短：全部构件用 7 台塔式起重机 36 个工作日完成吊装，平均三天半安装一层，保证了十个月交付使用的进度目标。

（2）质量高：民族饭店至今已经建成使用了半个多世纪，按照目前的平均建筑寿命是应该“寿终正寝，拆除重建”的建筑，其中经历过唐山地震波及的“中震”以及本地的几次“小震”。2006 年进行过一次改造工程，迄今使用状况良好，并获评 20 世纪 50 年代北京十大建筑。

（3）节约劳动力：20 世纪 50 年代和 60 年代没有“农民工”，建筑工人是“国家的主人”是工人阶级的一分子，装配式建筑对劳动力的节约有两个方面：一是通过工期缩短和节省了劳动工时，二是通过工厂预制减少了现场人工。

（4）节约木材模板，20 世纪 50 年代还没有胶合板，也没有现场钢模或铝模，现浇混凝土主要是用天然的木板来加工制作，工厂化预制减少了现场支模，

也节约了支模所用的模板。

（5）节约建设用地，项目建设用地南临长安大街，北侧与老北京的居民区隔一条小路相望，由于主要结构构件在工厂生产，现场取消了钢筋加工及堆放、模板加工及堆放、水泥、砂石存放及混凝土搅拌等需要的场地，使工程能够顺利开展。

（6）污染少，木模、散装水泥、砂石、钢筋加工等高污染环节从现场搬到工厂，必然会保证现场的环境远离污染。

该工程也有一些教训：首先是构件规格类型多，据统计有836种（6915件），给制作、储藏、运输和安装都带来不少困难；其次是建筑装修和设备未能相应地配合；还有当时采用了型钢节点，用钢量大，造价高。但从节省时间和长寿命使用的角度，该建筑的经济性还是不错的。

二、最早的装配整体式钢筋混凝土框架结构——北京民航大厦

北京民航大厦1964年1月竣工，位于东城区东四西大街路北，建筑面积23000m^2，是一座综合性办公楼。平面呈U形，最高（I段）54.5m，本工程为国内第一幢装配整体式钢筋混凝土框架结构的高层建筑，采用预制抗震框架施工。上下柱主筋用熔杯焊接后现浇接头，在国内首次采用整间预制贴面砖外墙挂板和内爬式塔式起重机施工，如图3-9所示。

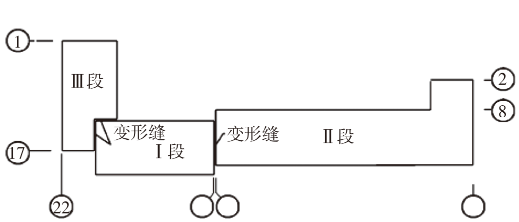


图3-9　标准层分段平面图

在民航大厦工程中，用了浆锚叠压型框架节点，节省钢材，施工更加便捷，如图 3-10 所示。

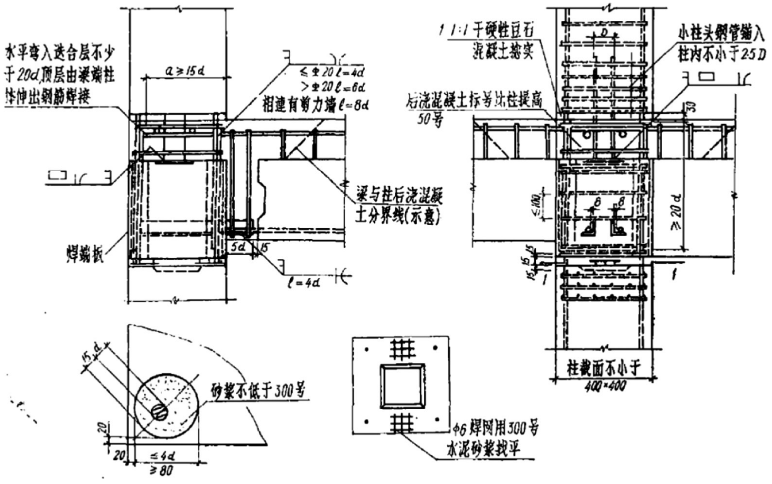


图 3-10　节点大样

除基础、地下室及 1 层结构为现浇钢筋混凝土外（当时或考虑了“底部加强区”），自 2 层以上所有的柱、梁、楼板、楼梯、内外墙壁板以及外墙饰面均为预制装配，装配面积占总建筑面积的 78.58%。后由于唐山大地震的影响以及建筑物本身年久失修，在 2000 年左右进行了一次加固改造。

三、最早引进预制薄板迭合板技术的建筑——北京西苑饭店

北京西苑饭店新楼于 1984 年建成，共有 709 套客房，总建筑面积 61367m^2。引进法国预制薄板叠合板技术。主楼 A 段平面呈 L 形，地下 3 层，地上 23 层，顶部旋转餐厅塔楼 6 层，地面以上高度 93.51m，如图 3-11 所示。

主楼 4~23 层为标准层，楼板采用了预制预应力混凝土薄板叠合板，在当时

图 3-11　西苑饭店外景

为国内首次在高层建筑中大面积采用此种楼板。预应力薄板作为模板与上部现浇混凝土组成一个整体，20 世纪 40 年代末到 50 年代初，在英国、苏联、瑞士、瑞典、法国、波兰、奥地利等欧洲各国开始采用。20 世纪 60 年代到 70 年代迅速发展，并广泛应用于各类房屋建筑中。我国于 1980 年进行试制。经过多种跨度和不同荷载的结构试验，1981 年在北京西苑饭店工程首次采用，面积约 2 万 m。此后，在一些高层旅游宾馆、办公楼、外交公寓、仓库等工程中得到推广。此种楼板既有预制板不需要支模、施工快捷的优点，又有现浇楼板整体性好、抗震性能强的优点。在西苑饭店工程中，板的宽度为 1.5m，一个房间在进深方向要用三、四块，摆放好了再现浇。后来 20 世纪 80 年代后亚运村公寓的时候，延续了西苑饭店的技术，那时预制板改良成大块板，一个房间一块，铺完板上面再做现浇。可惜后来随着大板建筑的突然消失，这些技术都没有延续下来。与之相对比的是，该项技术在

欧洲和北美洲的很多公共建筑中持续得到应用，现在已经发展出了系列化的产品，技术愈加先进和成熟，成本也愈加节省。此外，本工程还采用了陶粒混凝土面层内夹加气混凝土预制复合外墙板。获得了全国结构优秀设计一等奖。

四、最早的模块化钢结构建筑——丽都假日饭店一期（1982—1983 年）

5 层客房楼的 500 间标准客房是由新加坡预制的钢木拼装盒子结构，所有装修、设备已在工厂配套组装完成，每个重约 8t，如图 3-12~ 图 3-16 所示。

当时已经形成了专门的构造节点和做法，如图 3-17、图 3-18 所示。

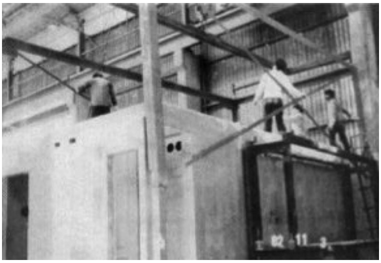


图 3-12　客房模块在工厂生产场景 1

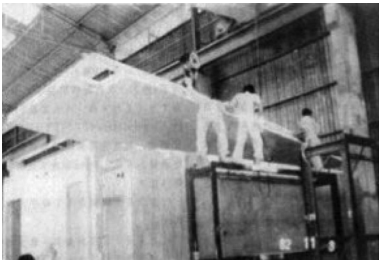


图 3-13　客房模块在工厂生产场景 2

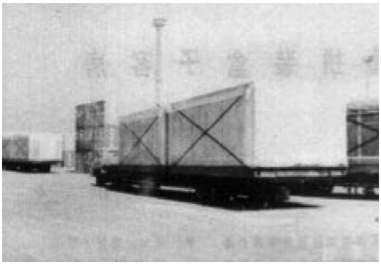


图 3-14　客房模块运输

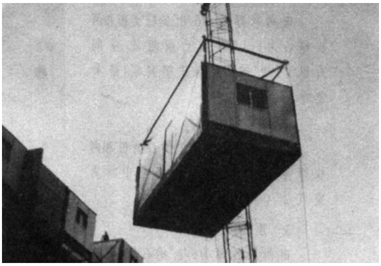


图 3-15　客房模块吊装

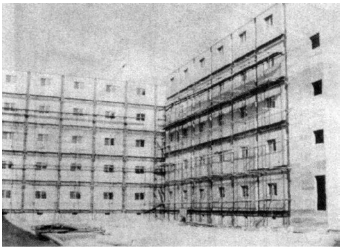


图 3-16　模块拼装现场

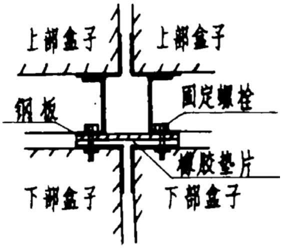


图 3-17　上下盒子连接节点

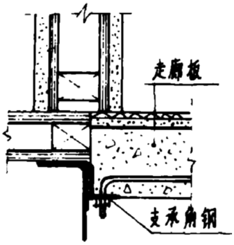


图 3-18　走道板支承节点

五、最早的陶粒混凝土轻质预制外墙建筑——国家海洋局和中国国际贸易促进委员会办公楼

1980 年建成，办公楼结构为预制框架剪力墙体系，标准柱网 7.20 × 5.10m，标准层高 3.60m。外墙为预制外挂陶粒混凝土墙板，如图 3-19 所示。

图 3-19　国家海洋局和中国国际贸易促进委员会办公楼

同时期建成的燕京饭店（1980 年）、西苑饭店（1984 年）、农业部办公楼（1986 年）等均采用了轻质陶粒混凝土外墙板，如图 3-20、图 3-21 所示。

图 3-20 燕京饭店旧景和改造后现状

图 3-21 农业部办公楼

六、第一套住宅通用图——二型住宅实践案例

1955 年，在苏联专家的指导下，北京市建筑设计院设计了第一套住宅通用图——二型住宅问世，建成的西便门住宅是其中一个代表。单元平面一种

为五开间一梯二户，另一种为一梯三户。 在预制结构与标准化设计方面，二型住宅为苏式密排屋架坡顶，楼板为 30cm 厚的预制钢筋混凝土方孔板，楼梯踏步板、休息板均为预制。因强调“标准化”，“工业化”“减少构件规格”，只用了 3.20m 一种开间，6.00m 一种进深，以及一种窗。房间、厨房、楼梯间均较大，每个单元只三层以上设一个小阳台，如图 3-22 所示。

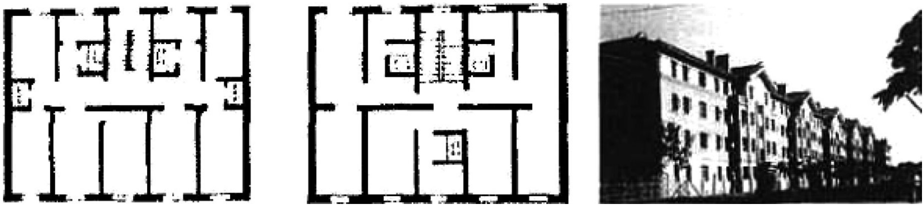


图 3-22　二型住宅

“二型住宅”首次提出了住宅的标准化设计，为工业化住宅的户型设计提供了借鉴。然而，单纯的模仿苏联的住宅设计经验，并不适于当时北京的城市住宅需求。设计过度强调统一的尺寸，因此楼梯也采用与房间同样的开间，房间面积普遍偏大，在使用上的造成浪费。此后专家结合当时条件，对二型住宅的设计进行了合理的修改，从而适应建国初期北京市的经济条件。

七、一个时代的记忆——建国门外外交公寓

1973 年，朝阳区建国门外大街北侧的 2 栋 16 层塔式外交公寓建成，为本市第一栋 10 层以上的高层住宅，由 2 栋 16 层塔式公寓和 2 栋 4-6 层板式公寓及附属建筑组成，如图 3-23 所示。16 层塔式公寓平面为错叠的双矩形，地下 1 层，地上 16 层，标准层每层 4 户。采用装配式整体式钢筋混凝土双向框架装配整体式框架结构——板、梁、柱及抗震墙等结构构件预制，接头处现浇成为整体。柱网纵横向的总尺寸依据施工机械自升塔式起重机安装

图 3-23　建国门外大街和外交公寓街景（1974）

位置、起吊能力、回转半径而确定。为了尽量减少预制构件规格，同时使公寓用房具有不同的开间，进一步将柱网进深均设为 5m，而开间为 3m、4m 和 5m 三种，如图 3-24 所示。

16 层公寓在预制结构构件的构造方面，具有一些新的特点：一个柱网间一块双向预应力大型井字梁式楼板，加强了平面刚度；迭合梁为不带牛腿的矩形截面，将楼板施工时伸入梁支座 4cm，使板梁交接简洁美观；双向框架系统的梁柱节点，经过大量实验采用高强度的混凝土，抗弯和抗压都具

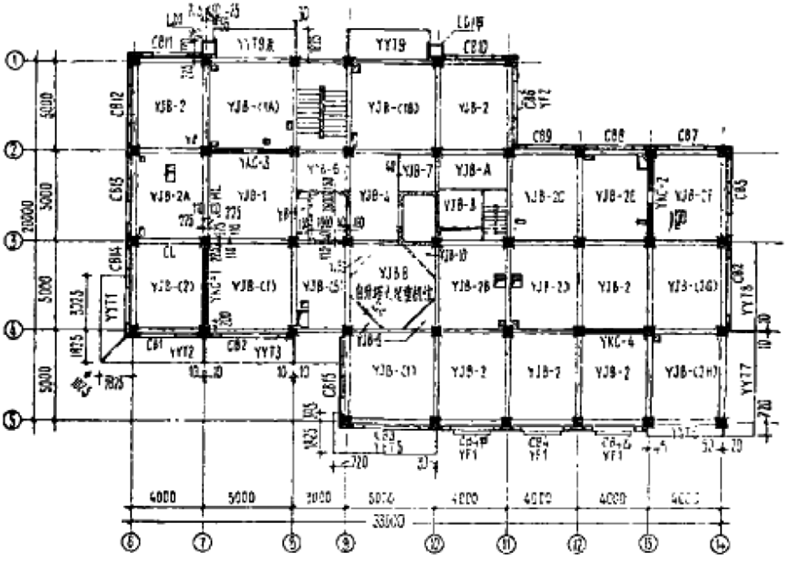


图 3-24　结构布置图

有较好的效果；预制墙板系平模生产，钢门窗安装以及马赛克贴面和窗套、腰线等水刷石饰面，一并在工厂加工制成，如图 3-25 所示。另外，在预制外墙板水平连接处的板缝构造设计为高低企口缝，高低口相差 6cm。为了保证防水材料在不同温度下都具有较好的韧性，因此选用了上海沥青嵌缝膏，这种油膏在 –20~ +60℃之间，稳定性良好。油膏外用加 5% 聚醋酸乙烯的 1 ∶ 2.5 水泥砂浆勾缝，勾缝以外，再刷一道有机硅，起到双重保护作用，如图 3-26 所示。

图 3-25　建国门外大街看外交公寓

八、“内浇外挂”大模板体系——前三门大街南侧住宅

1976~ 1979 年，市中心前三门大街南侧集中兴建了 34 栋 9 至 15 层高层住宅，有板式和塔式两种，共 39 万多 m^2，标志着建造高层住宅高潮的来临。前三门高层住宅结构采取“内浇外挂”做法，大模现浇内墙，预制外墙板，构配件标准化，如图 3-27 所示。

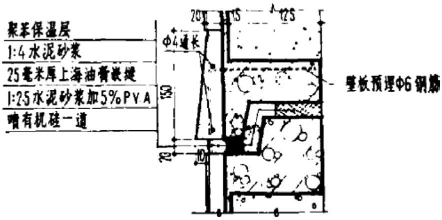


图 3-26　构件水平节点构造

在预制构件方面：外纵墙板起围护和承自重作用 ，并承受部分地震力；山墙板为承重墙板，材料有膨珠和加气填芯混凝土两种。为了加强预制墙板之间、预制墙板与内墙之间的连接，加强抗震能力，外墙板两侧埋有环筋和销键，墙板上部的吊环伸入上墙板下部的焊接口内与竖向主筋焊牢。楼

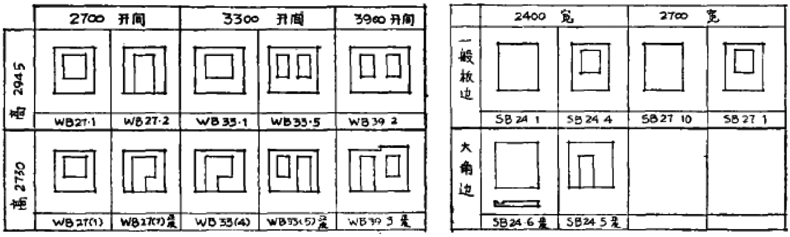


图 3-27　墙板示意图（来源：建筑学报，1977.04）

板普遍采用预制元孔抽芯小楼板，上做现浇地面，在少数幢号试验整间大楼板。另外，部分隔墙、阳台、楼梯以及垃圾道、通风道、女儿墙等均为混凝土预制构件。

住宅设计打破了使用过去的标准定型图概念，为了满足多样化的户型需求，同时尽量降低预制构件的种类，初步的尝试用统一的建筑参数和构配件来组织多样的平立面。在户型平面设计上，将各项建筑参数尺寸统一为三模制，从而确立建筑标准化的基础标准。接着采用三种基本的开间（2.7m、3.3m、3.9m）和两种基本的进深（4.8m、5.1m），层高为 2.9m（保证净高不小于 2.7m）。基本尺寸的确定都经过理性的分析：3.3m 开间是最常用的，2.7m 开间主要用作交通部分，而 3.9m 开间则是北京市大规模采用的 13cm 厚元孔短向楼板的最大开间。最终，墙板的种类由不同的开间和进深确定，种类大体分为实心板和带门窗洞口的墙板；山墙板按 4.8m 和 5.1m 进深各分为两块，轴线尺寸为 2.4m 和 2.7m 两种。可见，当时为了批量快速生产构配件，节省材料，保证现场的顺利安装，设计做到了提前对各种构配件进行定型化、标准化，值得我们学习。但是，当时过于强调节约和标准，也影响了其灵活性和多样性，这也是造成大板住宅突然消失的关键因素之一，我们需要研究好标准化和灵活性以及标准化和多样化的关系，避免再犯同样的错误，如图 3-28、图 3-29 所示。

图 3-28 前三门大街南侧住宅南立面

图 3-29 前三门大街南侧住宅沿街外景

九、高层装配式大板体系——天坛小区

1975 年在北京天坛南小区进行试点，市建院与建筑工程公司、构件厂、科研单位共同合作，新建两万多㎡两栋十一层大板住宅。这项工程按照北京市住宅一类标准进行设计，为市统建的一般职工住宅，如图 3-30 所示。

北京是地震区，结构设计考虑 8 度设防。因此，大板住宅的设计要点除要求各层墙板等构件类型尽量做到统一，更重要的是要加强结构的整体性和抗震能力。为了克服高层水平地震力逐层变化和构件规格统一的矛盾，住宅设计采取了以下措施：①控制建筑物的体型和高宽比，将住宅层数定为 11 层，总高为 31.35m，总宽为 10.60m，尽可能缩小住宅首层与顶层所承担的地震力差距；②将某一层墙板计算值作为配筋标准，不足部分的楼层钢筋在竖缝的插筋中补充，减少预制墙板类型；此外，为了加强结构整体刚度，还采取了以下措施：平面选择了凹凸变化较少的矩形平面，内外纵横墙基本拉通对直；纵墙和两道外纵墙设计上仍然采用了承重壁板，抵抗纵向地震力；板材接缝处通过预留钢筋和现浇混凝土进行共同连接作用；楼板与屋面板四边入墙，并与雨罩、阳台等挑出构件连成一块，如图 3-30 所示。

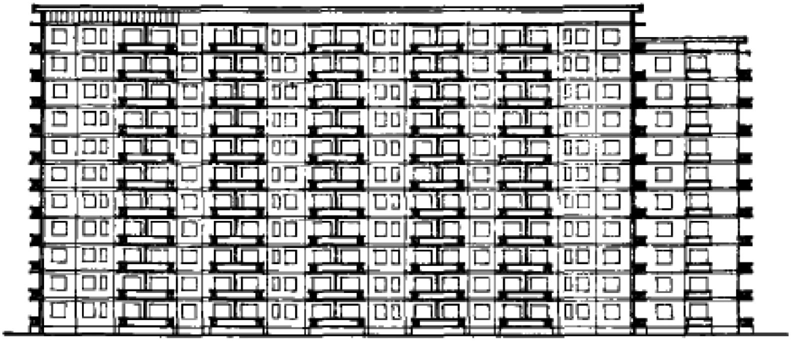


图 3-30 正立面示意图（来源：建筑学报，1977.04）

在板缝防水问题上，综合考虑结构、保温隔热、施工安装和防水问题，将外墙接缝的水平缝采用企口缝；立缝采用双空腔排水的构造做法；十字缝采用分层与通腔结合的构造方案。经过气候变化的考验，这种构造做法具有可靠的防水效果。

1976 年 7 月工程刚刚竣工，唐山地区发生强烈地震，波及京津地区。此住宅经受住了地震的考验。震后，对高层大板进行了检查，除发现首层、内纵墙在端开间、楼板下皮和内纵墙顶，造成一条发丝裂缝，其他结构完好无损。所以今天有人说，装配式建筑在我国还没有经过大地震考验的说法是不对的。

应该说，以上的这些实践，在我国建筑业的发展史上提出了很多的新问题和新挑战，也留下了很多珍贵的建筑作品和宝贵的工程经验。可惜，20 世纪 90 年代之后停滞了，由于没有继续实践，这些问题也就没有得到继续改进。这就客观造成了我们今天在装配式建造方式方面与先进国家的差距。

○ 第四讲 技术之美——装配式建筑的魅力

建筑“以什么为美”？

这是一个复杂性命题，也是一个时代性命题。

曾经，“领导说美就是美”，某市有位领导要“夺回古都风貌”，所有的新建建筑，无论高低胖瘦，不管住宅还是公建，均被要求加上标志性的“大屋顶”。“屋顶美就是美”，为此，某领导被大家取外号：“某喜亭”。

曾经，“唯洋为美”，洋人的建筑设计在某些人眼里都是好的，都比咱自己设计得好！美其名曰：“改革开放，吸收世界先进的建筑文化！”今天

看来，无节制地引进照搬外国经验，不仅让中国的城市成了国际建筑时装的秀场，产生了新的“国际式”和“千城一面”。更让我们丧失了民族自信、文化自信和道路自信。

曾经，“市场为美”，作为市场主体的开发商主导了“美”的标准，挂上标签的“ART DECO”“南加州”“西班牙小镇”“托斯卡纳”“北美风”“英伦风”“希腊风”“哥特风”……甚至某个瑞士小镇都被复制过来，“美”成为商品，待价而沽。

曾经，“理念为美”，建筑师在创作的时候热衷于附会各种诗句、各种经典，炮制各种概念，以华丽的辞藻美其名曰：“诗意的建筑”。可实际建成以后，就像其设计说明中的“大象无形”，所谓的诗意，早已消失于无形。

我看建筑学“以什么为美”？“技术之美”应该是答案之一。建筑的技术之美、技艺之美，应该是建筑生命轴之上、让建筑成为艺术、伴随建筑存在、赋予建筑灵魂、让建筑拥有打动人心力量的生命之源。

建筑的技术之美，包括工艺之美、材料之美、结构之美、建构之美等。为了更加清楚地深刻理解这些“美”，我们借助 4 个案例来感受一番。

一、工艺之美

建筑的工艺工法和建筑形式的最终呈现是密不可分的。节选引用卢求先生发表在建筑工业化装配式建筑网《欧洲典范：最全的德国装配式建筑技术体系研究》一文中的 Tour Total 大厦案例，展现一下装配式建筑的“工艺之美”，如图 4-1 所示。

图 4-1　德国 Tour Total 大厦

Tour Total 大厦 2012 年在柏林落成，代表了德国预制混凝土装配式建筑的一个发展方向。该项目建筑面积约 2.8 万 m^2，高度 68m。外墙面积约 1 万 m^2，由 200 余种类的 1395 个三维方向变化的混凝土预制构件装配而成。每个构件高度 7.35m，构件误差小于 3mm，安装缝误差小于 1.5mm。构件由白色混凝土加入石材粉末颗粒浇铸而成，精确、细致的构件、三维方向微妙变化富有雕塑感的预制件，使建筑显得光影丰富、精致耐看，如图 4-2~ 图 4-7 所示。

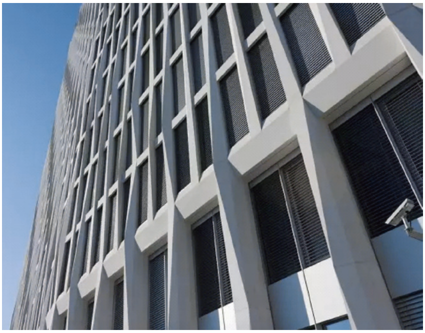


图 4-2　德国 Tour Total 大厦细节 1

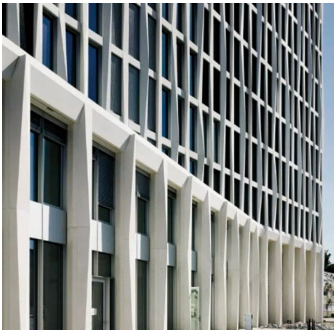


图 4-3　德国 Tour Total 大厦细节 2

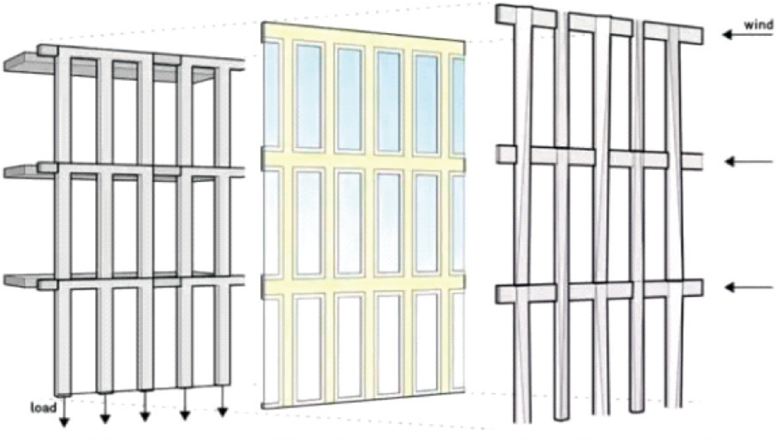


图 4-4　德国 Tour Total 大厦预制构件示意

图 4-5　德国 Tour Total 大厦预制构件 1

图 4-6　德国 Tour Total 大厦预制构件 2

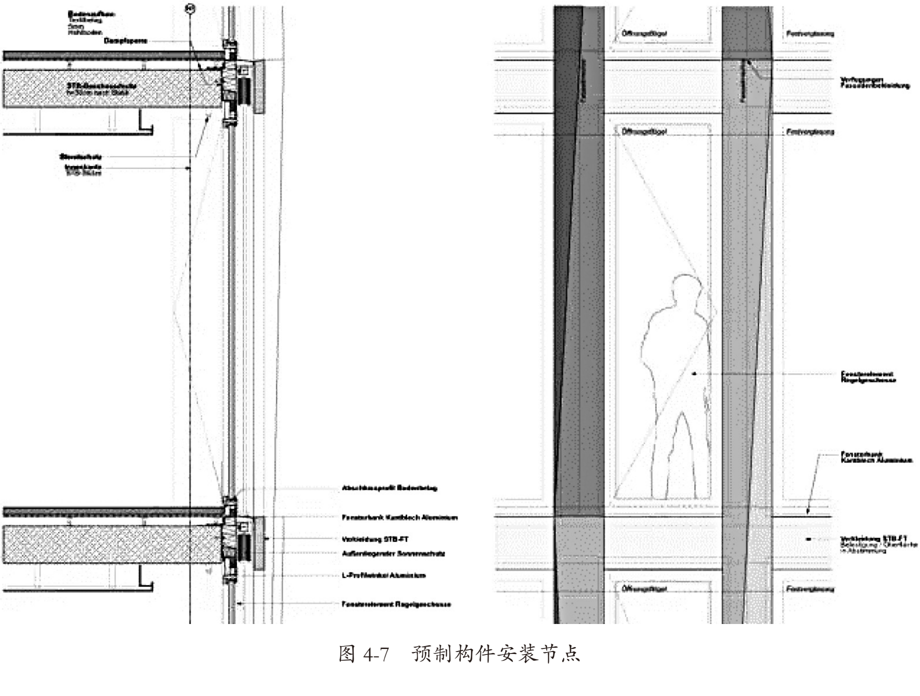


图 4-7　预制构件安装节点

二、材料之美

“砖块想成为什么？”路易斯·康说：“砖说：我爱拱券”。下面建筑工业化装配式建筑网转载《建筑时装》纽约 290mulberry Street 案例，我们可以将其答案放到在数字化时代的建筑语境中，砖说：“我爱肌理和质感，我爱参数化”。这就是数字化“砖”的材料之美：

图 4-8　街区环境

290mulberry Street 项目所在城市规划要求该建筑朝向 Huston 和 Mulberry 两条街的两面采用“石造建筑”外墙，这是为了与 Puck Building——这个纽约最著名的石造建筑之一相呼应，整体协调，如图 4-8 所示。

纽约市建筑规范允许建筑每 100 平方英尺㊀的面积内可以有 10 平方英尺㊀投影在建筑红线外，挑出长度最多 10 英寸㊁。这个规定适用于突出的装饰物，比如外圆角、檐板。SHOP 提出了表皮的一种“波纹”设计方案——砖块在整个立面上突出堆叠（不是单调地突出，而是像一个外圆角那样）——这与建筑规范设想的环境并不是很融合。“波纹”的“峡谷”处在建筑红线上，所以尽管只有 0.75 英寸，但几乎整个立面都超出了建筑红线。为解决这一问题，SHOP 利用分析软件计算出超出建筑红线的平均值，确保其可以满足建

㊀ 1 平方英尺 =0.092m^2

㊁ 1 英寸 =0.0254m

筑规范的要求，如图 4-9 所示。

要使表皮上每块砖都以精确的数值突出于表面，是难以通过泥瓦匠手砌来实现的。这些砖在工厂被预先制成预制墙板，如图 4-10、图 4-11 所示。

预制化的施工除了增加了设计灵活性外，由于工厂生产的面板可以在建筑结构建造的时候制造，然后送到工地通过吊车迅速安装，从而有不在基地施工的时间优势。预制化的施工往往能更好地控制质量，节省建造时间，更有利于早日开始室内和饰面工作。建筑师通过使用数字建造技术，以最少的成本获得了最大的效益和额外面积。290mulberry Street 的表皮临街面有非凡的质感，而内部是简单的混凝土框架核心。实墙上窗户的比例几乎和旧式公寓大楼（周边街区的主要建筑形式）是一样的，整个建筑表皮清晰地表现了一系列错列的、孔洞式的窗户。表皮的“包

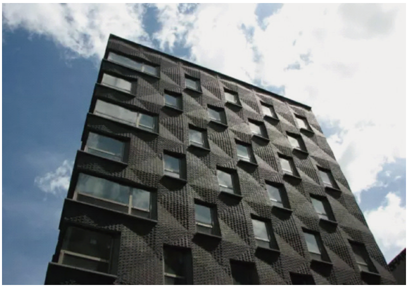


图 4-9　建筑外观 1

图 4-10　建筑外观 2

图 4-11　构件运输

装纸”概念以及砖的充满活力的应用给建筑一种整体一致感，开窗和单元面板的形式创造了一种动感的视觉印象，从而使这个表皮更具现代性，如图 4-12 所示。

图 4-12　建筑外观 3

由于原文的描述太过复杂，接下来改为图片配短文，简要说明预制过程：

（1）BIM 建模，如图 4-13 所示。

（2）BIM 细化到每块砖布置的

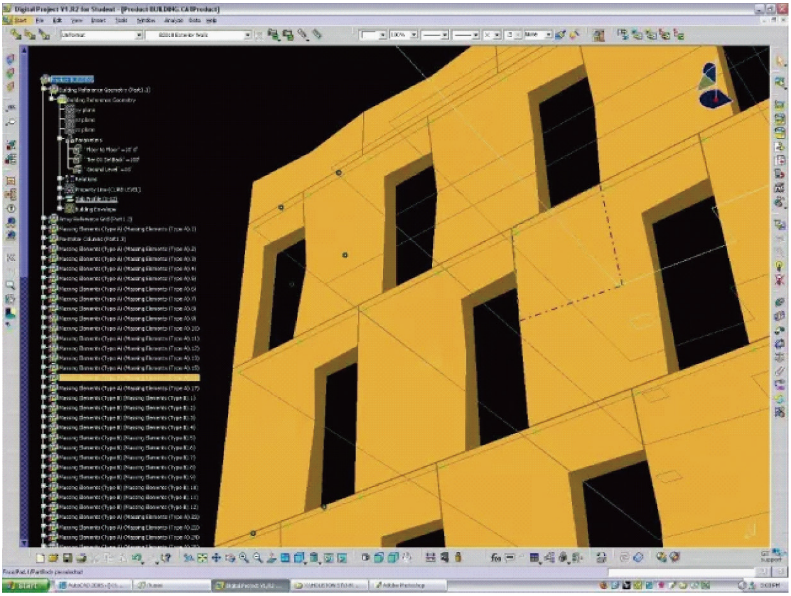


图 4-13　BIM 建模

参数化模型，如图 4-14 所示。

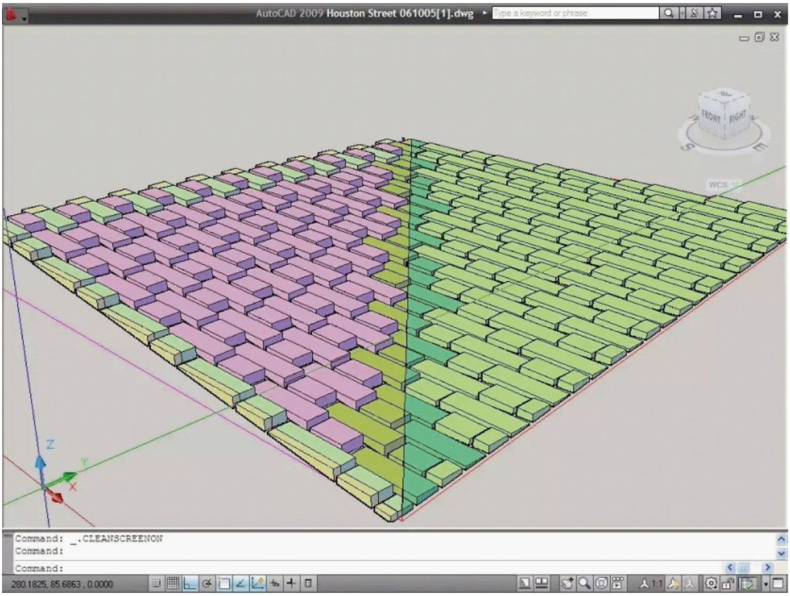


图 4-14　参数化模型

（3）BIM 模拟拼装，如图 4-15 所示。

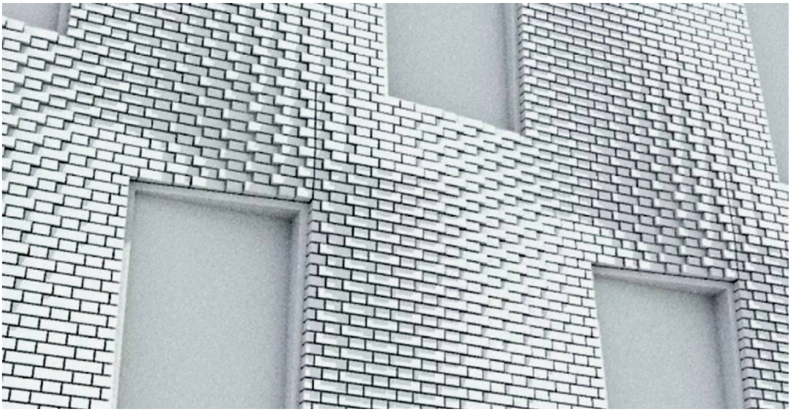


图 4-15　BIM 模拟拼装

（4）确定所有基于 BIM 的构件模型，如图 4-16 所示。

（5）CNC （计算机数字控制）制造的主要正片，橡胶衬板的底模，如图 4-17 所示。

（6）浇注橡胶衬板，如图 4-18 所示。

（7）橡胶衬板中嵌入面砖，形成墙板模具，如图 4-19 所示。

（8）浇筑混凝土，形成预制外墙板，如图 4-20 所示。

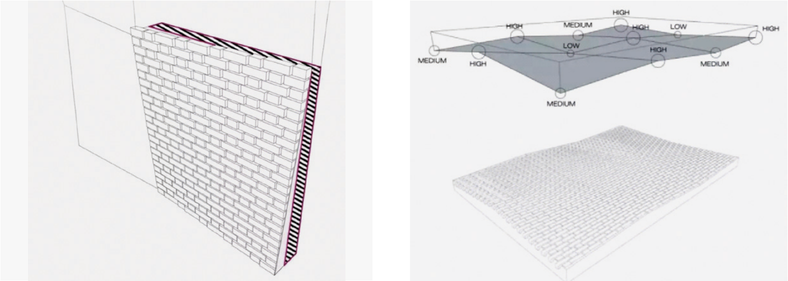


图 4-16　预制构件 BIM 模型

图 4-17　CNC 制造底模

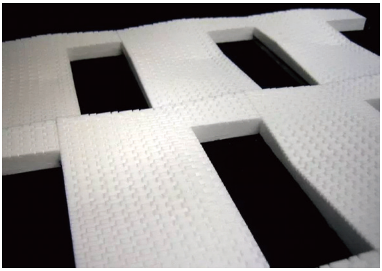


图 4-18　浇筑橡胶衬板

图 4-19　组合墙板模具

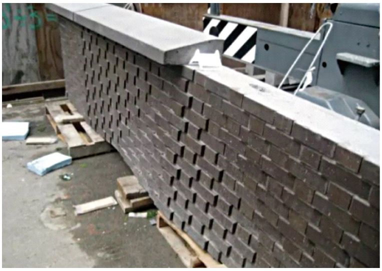


图 4-20　构件混凝土浇筑成品

（9）墙板吊装，完成外墙施工，如图 4-21 所示。

图 4-21　构件安装

三、结构之美——罗马小体育宫

罗马小体育宫的设计者奈尔维是最著名的结构工程师、建筑师，他是“二战”后混凝土建造的“混凝土诗人”，其作品表现的是一种结构之美、技术之美，如图 4-22 所示。

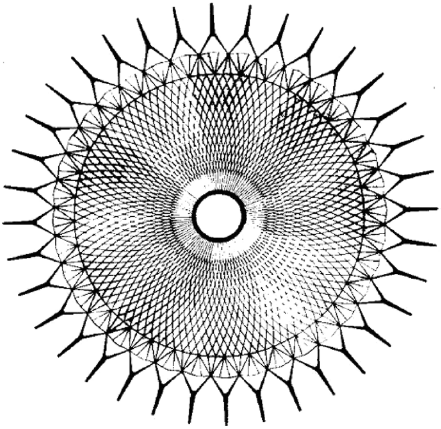


图 4-22　小体育宫穹顶仰视图

罗马小体育宫为钢筋混凝土扁球壳结构，球壳直径 59.13m，其特征在于内部空间极强装饰性和表现力的“网肋”，既是整个建筑内部空间形态的典型特征，又是结构体系的重要组成部分。花瓣式的网肋，把力传到斜柱顶，再通过 36 个 Y 形支撑传至基础，如图 4-23 所示。

图 4-23　斜撑将穹顶的斜向推力传至基础

整个球壳由 1620 块用预制的钢丝网水泥菱形槽板拼装而成，板间及之上布置钢筋，以此为模板，上浇混凝土，形成装配整体式叠合结构。从建筑内部看，圆顶如花瓣般绽放，规则的球壳和带肋拱壳造型，极富装饰性并充满韵律感，这种装饰不是后加的，是结构与生俱来的，

结构之美因其而生，展现了“结构之美”，如图 4-24、图 4-25 所示。

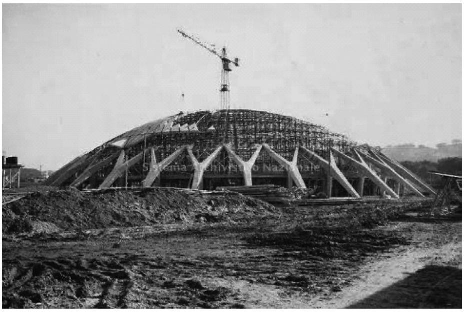


图 4-24　预制叠合球壳吊装情形

图 4-25　小体育宫穹顶的结构之美

后来，他进一步将预制模板技术改造为预制混凝土技术，由此独创了通过组装轻薄的预制混凝土折板来实现的装配整体式叠合结构。并与建筑师贝鲁奇合作创作了旧金山圣玛丽大教堂，教堂上端是一个双曲抛物面拱壳结构，内部开阔无梁柱，空间由 1680 个 128 种不同尺寸的预应力混凝土藻井组合在一起，外侧通过浇筑混凝土形成四块预制叠合混凝土拱壳。板块交接处嵌入窄长的传统彩色玻璃，构成十字形光晕。十字交叉处便是屋顶外 17m 高的金色十字架底座。教堂四角底部的玻璃在高耸的顶棚下透出朦胧的光，体现了蕴涵在结构逻辑中的诗意之美，如图 4-26 所示。

图 4-26　教堂内部穹顶的结构之美

四、建构之美——澳大利亚波浪大厦

建构之美是一种“素颜美”，是通过结构和构造，采用建筑本体表达出的非装饰的原生美。澳大利亚波浪大厦项目采用了 500 个曲边结构阳台板，不加任何装饰，利用建筑各层间预制阳台本身的排列组合，形成了一个螺旋状上升的“海浪”样式，如图 4-27~ 图 4-29 所示。

图 4-27　海浪大厦外观 1

图 4-28　海浪大厦外观 2

图 4-29　海浪大厦外观 3

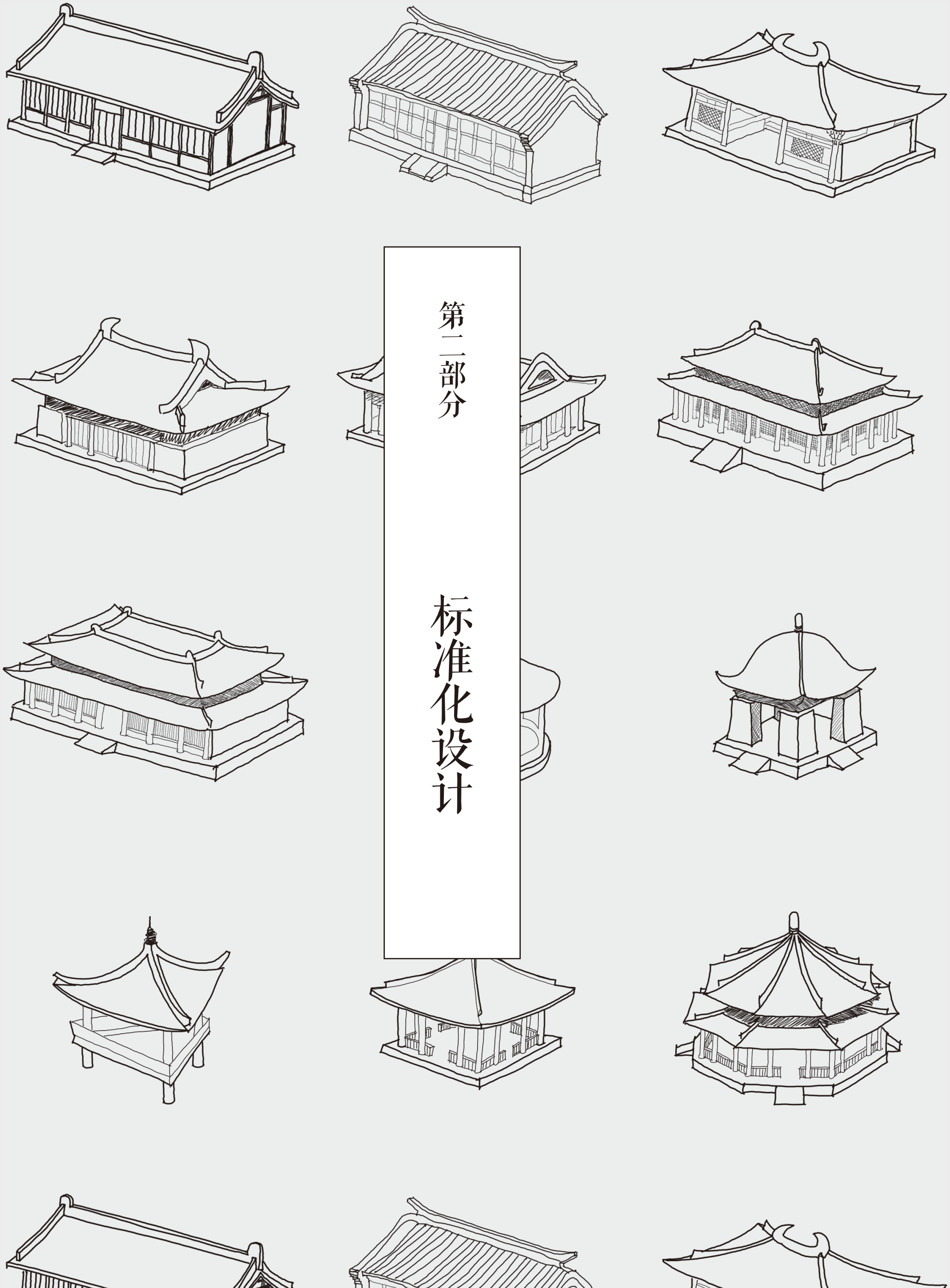
海浪大厦，只用“预制阳台”这一种预制构件，结合当地的气候环境条件，用曲线形的阳台，组合出结构美、空间美、功能美和非装饰的美，代表了装配式建造方式的技术美学发展方向。从这个意义上来讲，我们需要再次强调：“装饰就是罪恶”。

反思这些年，由于重数量而非质量，重装饰而非建构，很多建筑总是将结构包裹在装饰材料之后，装饰既遮掩了丑，也盖住了美。大部分的建筑空间，也总是通过装饰设计来最后形成，建筑因此而失去了“天然美、真实美、素颜美”。建筑学科如果沦为建筑装饰学，建筑师将变成化妆师和道具师。没有了技术和技艺的建筑学，将失去其灵魂，最终只剩下形式的躯壳而死亡。

装饰是短命的，只有建构才能赋予建筑时间和生命，才能贡献给城市有历史感的建筑，从而让城市也拥有历史的记忆。

图 4-30　旧金山泛美航空公司大厦

建筑是技术与艺术的结合，是技术理性与人文科学和艺术的统一。好的建筑首先是其存在的技术手段以及其所表现出来的形式美。建筑学应该回复初心，回归到一条的“技术理性的发展之路”上。回归技术理性，研究如何更加高质量、高效率地建造更为性能优异的建筑，以满足人的更高需求，是行业的发展方向，这是 2013 年我在参观旧金山泛美航空公司大厦时的感悟，如图 4-30 所示。



第二部分

标准化设计

○ 第五讲 再学再思——建筑标准化新解

我国以文献形式呈现，并较为系统的“标准化”初见于《周礼·考工记》。内容涉及先秦时代的制车、兵器、礼器、钟磬、炼染、建筑、水利等手工业技术，其中关于建筑标准化的论述:“匠人营国，方九里，旁三门。国中九经九纬，经涂九轨，左祖右社，面朝后市，市朝一夫……”（图 5-1）；“殷人重屋，堂修七寻，堂崇三尺，四阿重屋……”等，影响了中国几千年的城市规划及建筑形制。《诗经·小雅·斯干》，第一句：“秩秩斯干，幽幽南山”描绘了古人的建筑选址标准要“面山临水，松竹环抱”；第二章“筑室百堵，西南

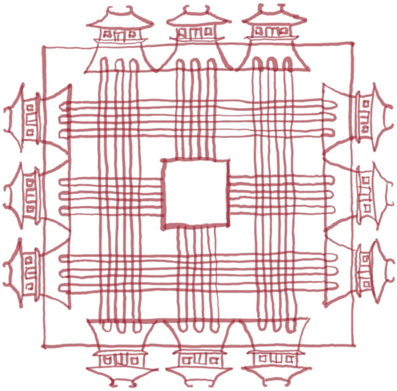


图 5-1 “匠人营国”的标准

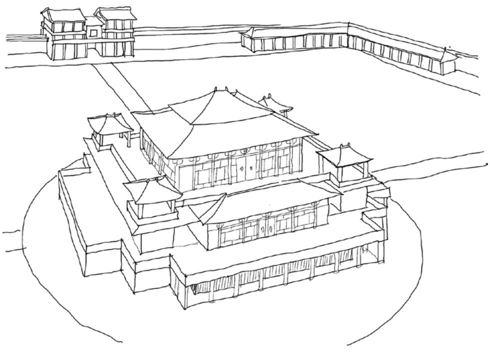


图 5-2 “般人”的建筑规制

图 5-3 建筑选址标准

其户”可以知道当时的宫室是按营造规制建造的宏伟建筑，其门户开在西南方位。第四章“约之阁阁，椓之橐橐”，可以窥见宫室建筑的建造方式：“捆扎筑板时，绳索‘阁阁’发响；夯实房基时，木杵‘橐橐’作声”。第四章：“如跂斯翼，如矢斯棘，如鸟斯革，如翚斯飞，君子攸跻”。则谈到了宫室建筑规制严整，屋顶有飞檐造型，建筑色彩斑斓等内容，如图 5-2、图 5-3 所示。

中西方皆有传世的建筑标准化典籍，中国以宋《营造法式》为代表，西方则非《建筑十书》莫属，其共性在于它们都主要来自于建筑工程实践经验的总结。根据梁思成先生及营造学社前辈们的研究，中国古代建筑标准化更多体现在“用材之制”上，如宋代《营造法式》的“材分制”：“凡构屋之制，皆以材为祖”；梁先生还发现《建筑十书》的“order”（柱式）与中国的“材分制”有异曲同工之妙：“order”以砖石建筑的立柱柱径为基本模数来确定建筑各部位基本尺寸；而“材分制”是按照木材的直径来确定适用部位。可见东西方的两大代表性营建体系其建筑尺寸的配合关系都采用了与主要建筑材料相匹配的模数制，如图 5-4 所示。

现代意义上的“建筑标准化”是与“建筑工业化”相伴而生的。第二次世界大战后，以满足大量建造需求的建筑工业化为开端，以工厂生产的各类

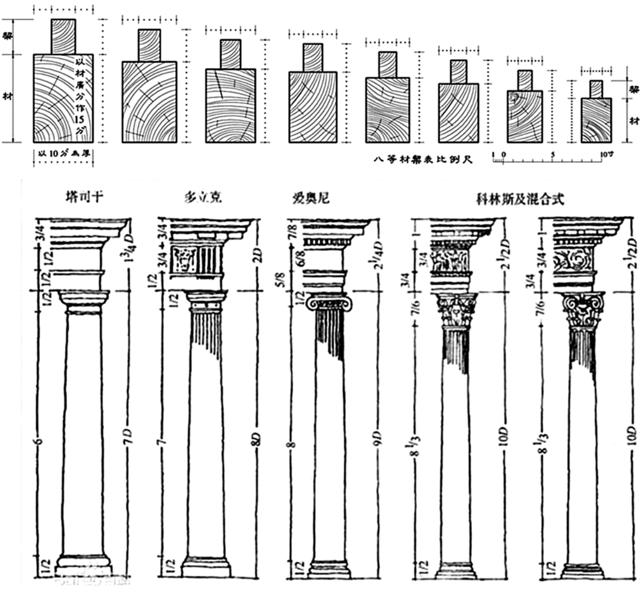


图 5-4　柱式与材分制

部品部件在建筑上的持续使用为支撑，建筑标准化工作得到很大发展。1974 年，联合国出版的《政府逐步实现建筑工业化的政策和措施指引》中定义了“建筑工业化”：“按照大工业生产方式改造建筑业，使之逐步从手工业生产转向社会化大生产的过程。它的基本途径是建筑标准化，构配件生产工厂化，施工机械化和组织管理科学化，并逐步采用现代科学技术的新成果，以提高劳动生产率，加快建设速度，降低工程成本，提高工程质量。”说明了建筑标准化是发展建筑工业化 “标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化内装、信息化管理” 的重要内容之一，是推进和组织规模化高效生产的重要手段和必要条件。梁思成先生关于“建筑标准化”的论述比较便于理解建筑标准化和建筑工业化的关系：“要大量、高速地建造就必须利用机械施工；要机械施工就必须使建造装配化；要建造装配化就必须将构件在工厂预制；要预制就必须使构件的类型、规格尽可能少，并且

要规格统一，趋向标准化。因此标准化就成了大规模、高速度建造的前提。”

当然，也不能将“建筑标准化”与“建筑工业化”完全等同。我国 1978 年开始编纂的《中国大百科全书》第一版，对“建筑标准化”的定义是：“在建筑工程方面建立和实现有关的标准、规范、规则等的过程。建筑标准化的目的是合理利用原材料，促进构配件的通用性和互换性，实现建筑工业化，以取得最佳经济效果。”该释义与同书的“标准化”定义为：“制订、贯彻和推广应用标准的活动过程。标准是对科学技术和经济领域中某些多次重复的事物给予公认的统一规定。标准的制订必须以科技成果和实践经验为基础，经有关各方协商一致，由主管机构批准，并以特定形式发布，作为共同遵守的准则。标准随着科学技术的发展和经验的积累而不断更新。”立足点、内涵和外延有一些不同。该定义认为建筑标准化的目的在于“建筑工业化”和“节省原材料”和“经济性”几方面，存在着其时代认知的局限性。仔细理解中西方建筑标准化典籍，不难理解建筑标准化的实质是人类建筑实践中具备重复性和通行性经验的总结，其目的有的是为了节约材料降低成本，有的是为了规范政府固定资产的投资行为，有的是为了体现统治者或“神”的权威，有的是为了提升建筑抗灾能力，有的是为了先进技术的推广应用，有的是为了提高战争能力等，不一而足，不能将其固化，僵化地理解。因此“标准化”定义中认为“标准随着科学技术的发展和经验的积累而不断更新”的观点是值得肯定的。

细读该词条，也有令人“惊艳”的发现，当谈到“发展趋势”的时候，《大百科》指出：“随着建筑工业化水平的提高和建筑科学技术的发展，建筑标准化的重要性日益明显，所涉及的领域也日益扩大。许多国家以最终产品为目标，用系统工程方法对生产全过程制定成套的技术标准，组成相互协调的标准化系统。运用最佳理论和预测技术，制定超前标准等，已经成为实现建筑

标准化的新形式和新方法。”30 年前，我国学者就能提出：“以最终产品为目标，用系统工程方法对生产全过程制定成套的技术标准，组成相互协调的标准化系统。”不正是我们今天为发展建筑工业化，推行“系统性建造”的解决之道吗？

今天身处人工智能和大数据时代，建筑标准化的发展趋势也在新的科学技术支撑下发生着新的革命性变化，总体而言具有以下几个新的发展特征：

（1）全面性：建筑标准化不仅限于设计的标准化，还应该有生产、施工的标准化；不仅限于建筑的标准化，还包括结构、机电、内装及关联部品部件的标准化、系列化；不仅限于技术的标准化，还涉及管理的标准化。

（2）系统性：现代建筑标准化日趋丰富并逐渐系统化，我国要发展建筑工业化，必须以完整的建筑最终产品为目标，用系统工程方法对生产全过程制定成套的技术标准，组成相互协调的标准化系统。

（3）数字化：迈进 21 世纪以来，由于计算机技术的发展和工业制造加工能力的不断进步，建筑标准化进入了数字化时代，涌现出基于参数化设计，3D 增材和减材制造的很多新的标准和规则。以数字驱动的智能化生产，促使建筑的几何控制系统由传统的模数制发展为更为复杂的参数化系统，未来的建筑标准化会逐步与“简单形体”和“规则几何尺寸”渐行渐远，更加突出复杂性、系列化、数字化特征。并依赖数据驱动的智能化建造方式。

（4）多样化：建筑标准化不等于千篇一律。建筑标准化和多样化应该是对立统一的有机整体，应该立足于实现多样化前提下的建筑标准化。建筑标准化工作还要求提高建筑多样化的水平，以满足各种功能的要求，适应美化和丰富城市景观并反映时代精神和民族特色的需要。

（5）定制化：更高层次的标准化，在人工智能时代，既可通过交互式菜单选择，也可以通过数字驱动的个性化定制来实现。

○ 第六讲 集成设计——装配式建筑设计要点

正如梁思成先生1969年撰文指出：“要大量、高速地建造就必须利用机械施工；要机械施工就必须使建造装配化；要建造装配化就必须将构件在工厂预制；要预制就必须使构件的类型、规格尽可能少，并且要规格统一，趋向标准化。因此标准化就成了大规模、高速度建造的前提。”建筑生产过程的预制化和装配化是建筑工业化的重要实现手段之一，通过工厂预制，现场装配，确保了建筑的生产过程能实现或接近实现联合国定义的工业化的6条标准：“生产的连续性、生产物的标准化、生产过程的集成化、管理的规范化、生产的机械化、技术科研生产一体化。”也为实现我国行业内广泛认同的“五化”，即标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理的新型建筑工业化建造方式提供了可行的路径和方法。作为“五化”之首的“标准化设计”，如何让建筑的生产过程实现标准化、

集成化、机械化、信息化和自动化的生产方式？如何保证建筑部品和构件在生产过程中的连续性等问题。简而言之，就是需要研究如何实现设计、生产和施工的一体化的设计要点。

装配式建筑关键在集成，联合国教科文组织定义的“产业化”6条标准：生产的连续性，生产物的标准化，生产过程的集成化，工程建设管理的规范化，生产的机械化，技术生产科研的一体化。其中生产物的重复性、集成组合的有序性、全过程的一体协同性、机械加工的精致性是主要特征。可见，“生产过程的集成化”是实施途径，是实现手段，“集成化”也是产业化生产过程的主要特征。

一、转变观念

装配式建筑是建筑生产方式的变革，要适应转变生产方式的要求，首先需要转变观念。

（1）要从“专属、独有”转变为“跨界、共享”的观念。“跨界、共享”强调专业和工种之间的融合，关注创新的持续性，通过不断调整，使得相关人员形成具有交互功能的团队，充分利用个人和团队的创造性思想，利用现有的技术，形成交互的复杂创新系统，从而形成创新的融合，并产生新的核心竞争力。“专属、独有”只能故步自封、作茧自缚。“跨界、共享”才能实现专业间的融合，使各创新要素之间互补匹配，从而使创新系统的整体功能发生质的飞跃，形成独特、不可复制、不可超越的创新能力和核心竞争力，如图6-1所示。

（2）要从“模糊、拼凑”转变为“精确、集成”的观念。“齐不齐，一把泥”的“行话”非常形象地概括了建筑行业“模糊、拼凑”的旧观念，这种观

图 6-1 跨界、共享、协同

念指导下建设方式存在不科学、低效率、质量差、寿命短等弊端。装配式建筑不等于传统生产方式和装配化的简单相加，用传统的设计、施工和管理模式进行装配化施工不是真正的建筑工业化。装配式建筑的优势在精确，关键在于集成，只有将建筑看作一个整体有机的系统，各系统通过机械自动化精确制造并集成为完整的体系，才能体现工业化大生产的优势，实现提高质量、提升效率，减少人工、减少浪费的目的，如图 6-2、图 6-3 所示。

图 6-2 “拖泥带水”的工地

图 6-3 “干净利索”集成装配的工地 1

在装配式建筑设计中，系统集成的设计与运用已经成为一种发展趋势。系统集成的方法很多，应该提倡主体结构构件、建筑内装、管线设备三部分装配化集成技术，实现内装修、管道设备与主体结构的分离设计。使之具备结构耐久性，室内空间在全寿命周期内可根据需要灵活多变，装修及设备管线可更新，同时兼备低能耗、高品质和长寿命的优势。

（3）要从“施工”转变为“建造”的观念。在以“施工”为主的观念中，一切工作是围绕“工地”展开的，具有分散性、临时性、随机性，缺乏组织化和预判性的特点。而在以“建造”为主的观念中，工地成为“建造”的一部分，具备整体性、永久性、计划性并且高度组织化的特点。装配式建筑是一个系统工程，设计对“建造”过程的理解和应对非常重要。要在技术策划和方案设计一开始，就建立“构件组合”的设计观，按照构件和模块组合的思路和逻辑来进行设计，并将其贯穿于整个设计和建造的全过程，如图 6-4、图 6-5 所示。

（4）要从“廉价、时髦、眼下”转变为“优质、优价、耐用和长寿命”的观念。在工程实践中，存在片面追求“廉价、时髦”和不可持续的短期效益的倾向。有的重形式，轻功能，导致使用上的不合理和浪费，有的过分重视节约造价，轻视使用中的运营维护成本和建筑长寿命使用的要求，

图 6-4　“干净利索”集成装配的工地 2

图 6-5　中国尊运用了“中建造楼机”，变“施工”为“建造”

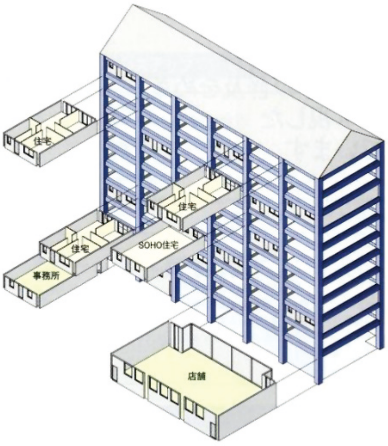


图 6-6 主体结构和装修机电的集成关系

导致后期管理成本过高，“短命建筑”大行其道。装配式建筑承担了“转方式”的历史使命，就应该避免“短命建筑”，提供“综合最优”和“长效可持续”的整体解决方案。就应该统筹考虑建筑全寿命周期的规划设计、施工建造、维护更新和再生改建的全过程，如图 6-6 所示。

（5）要从“个别和单体”转变为“全部和整体”的观念，装配式建筑的设计与建造需要整体设计的思想。传统建筑项目的规划设计仅针对单独项目的需求，包括甲方条件、功能要求及审美需要等，各项目是无关联的分散个体。在装配式建筑设计中，标准化的构件和部品涵盖了若干个采用统一建造标准的不同项目。他们之间共享设计方法、装配构件、建筑部品、标准模块、标准楼栋等。因此，在装配式建筑设计之初，就需要考虑统一标准的装配式建筑体系的整体关系，既包括项目之间，也包括项目各个单元之间的整体性，如图 6-7 所示。

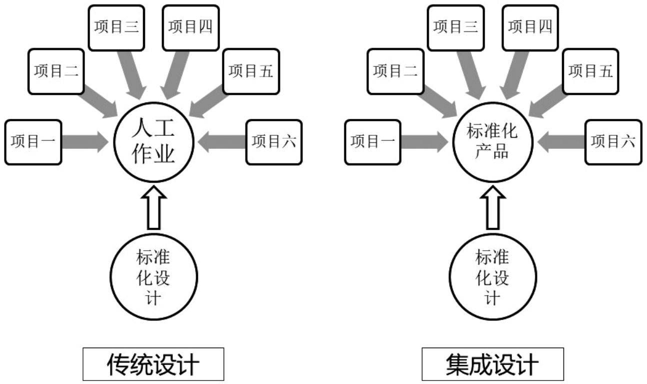


图 6-7 传统设计和集成设计的区别

（6）要做“绿色”的装配式住宅，推进绿色建筑工业化发展进步。

新型装配式建筑带有典型的“绿色”特征，不仅通过新技术新材料的运用提升了性能和质量，更大的不同在于采用了更加高效的“绿色”技术，具有更大的“绿色”效益。其一：可以使住宅建造过程中的资源利用更节约、更合理。其二：提高了结构精度，减少了渗漏、开裂等质量通病，使住宅的性能质量更加优化。也提高了住宅的“绿色指数”。其三：可以提高劳动生产率，经济效益、社会效益非常显著。通过建筑构件的工厂化预制，可以形成构件生产上下游的产业链，可以将建筑工地上的“农民工”转变为工厂内的“产业工人”，转变生产关系，促进“绿色发展”。

二、重视协同工作，用好协同方法

一体化协同设计是工厂化生产和装配化施工的前提。装配式建筑应利用包括信息技术手段在内的各种手段进行建筑、结构、机电设备、室内装修、生产、施工一体化设计，实现各专业间、各工种间的协同配合。在装配式建筑的设计中，参与各方都要有“协同”意识，在各个阶段都要重视实现信息的互联互通，确保落实到工程上所有信息的正确性和唯一性。

实现协同的方法很多，有传统的项目周例会制度，全部参与方通过全体会议和定期沟通、互提资料等方式进行协同；也有基于二维 CAD 和协同工作软件搭建的项目协同设计平台；还有基于 BIM 的协同工作平台等。在工作中不仅要选好用好各种方法，也要清楚不同设计阶段的协同要点：

（1）在前期技术策划阶段，应以构件组合的设计理念指导项目定位，综合考虑使用功能、工厂生产和施工安装条件等因素，明确结构形式、预制部位、

预制种类及材料选择。设计应与项目的开发主体协同，共同确定项目的装配式目标。

（2）在方案设计阶段，结合技术策划的要求做好平面组合设计和立面设计。方案设计在优化使用功能的基础上，通过模数协调，围绕提高模板使用效率和体系集成度的目标进行设计；立面设计要考虑外墙构件的组合设计，并结合装配式建造方式，实现立面的个性化和多样化。

（3）在初步设计阶段，各专业的协同非常重要。在常规的建筑体系中，预制墙板上应考虑强电箱、弱电箱、预留预埋管线和开关点位的设计，其布置的科学性、合理性往往成为项目成败之关键；装修设计提供详细的“点位布置图”并与建筑、结构、设备、电气和工厂进行协同；与经济专业协同进行“经济性评估”，分析成本因素对技术方案的影响，确定最终的技术路线等。在SI分离体系中，需要协同确定各类管线的排布位置及敷设方式，并与选择的墙体形式、地面及吊顶形式等进行协同。

（4）施工图设计阶段按照初设确定的技术路线深化和优化设计，各专业与建筑部品、装饰装修、构建厂等上下游厂商加强配合，做好大样图上的预留预埋和连接节点设计；尤其是做好节点的防水、防火、隔音设计和系统集成设计，解决好连接节点之间和部品之间的“错漏碰缺”。当前，预制构件加工图大多由预制构件厂依据设计院提供的大样图深化设计，建筑师的工作主要是配合和把关，确保预制构件实现设计意图，如图6-8所示。

图6-8　协同不好导致现场拆改

（5）装修设计阶段的协同，遵循建筑、装修、部品一体化协同的原则，实现以集成化为特征的内装部品成套供应，部品安装满足干法施工要求。要求装修设计采用标准化、模数化设

计；各构件、部品与主体结构之间的尺寸匹配、协调，提前预留、预埋接口，易于装修工程的装配化施工；墙、地面块材铺装基本保证现场无二次加工。

（6）预制构件深化设计阶段，无论谁承担构件加工图设计，都要做好设计、生产、施工的协同，要建立协同工作机制，构件设计与构件生产工艺及施工组织紧密结合。预制构件加工图纸应全面准确反映预制构件的规格、类型、加工尺寸、连接形式、预埋设备管线种类与定位尺寸。满足工厂生产、施工装配等相关环节承接工序的技术和安全要求。

三、模数和模数协调是装配式建筑的基础

标准化的基础是模数化，装配式建筑如果缺失了建筑模数，就不可能实现标准化。通过建筑模数不仅能协调预制构件与构件之间、建筑部品与部品之间以及预制构件与建筑部品之间的尺寸关系，减少、优化部件或组合件的尺寸，使设计、制造、安装等环节的配合简单、精确，基本实现土建、机电设备和装修的“集成”和大部分建筑部品部件的“工厂化制造”。而且还能在预制构件内在的构成要素（如钢筋网、预埋管线、点位等）之间形成合理的空间关系，避免交叉和碰撞。

模数协调的目的是实现建筑部件的通用性及互换性，使规格化、通用化的部件适用于各类常规建筑，满足各种要求。同时，大批量的规格化、定型化部件的生产可稳定质量，降低成本。通用化部件所具有的互换功能，可促进市场的竞争和部件生产水平的提高。

模数协调的方法有很多，在实际应用中，往往通过“优先尺寸”来构建建筑模数控制系统。“优先尺寸”是从基本模数、导出模数和模数数列中事

先挑选出来的模数尺寸。优先尺寸越多，则涉及的灵活性越大，部件的可选择性越强，但制造成本、安装成本和更换成本也会增加；优先尺寸越少，则部件的标准化程度越高，但实际应用受到的限制越多，部件的可选择性越低。

四、总图规划及建筑组合设计

总图规划及建筑组合设计是装配式建筑设计的重要环节，所有的设计和协同，都要通过这个环节来落实和实现，因此其要点涵盖的内容非常多，我们在实践中常常要注意的有：

（1）大空间的平面布置，平面设计不仅应考虑建筑各功能空间使用尺寸，还应该考虑建筑全寿命周期的空间适应性，让建筑空间适应人不同时期的不同需要，大空间的结构形式有助于实现这一目标。要尽量按一个结构空间来设计，采用结构主体、内装和设备相分离的建筑体系，在空间内部进行灵活的划分，方便检修和改造更新。

（2）模块化的设计，模块化是“将有特定功能的单元作为通用性的模块与其他产品要素进行多种组合，构成新的单元，产生多种不同功能或相同功能、不同性能的系列组合”。模块化是系统的方法和工具，模块化设计能够将产品进行成系列的设计，形成鲜明的套系感与空间特征，利于后期衍生开发（系列化）。标准化的组件，使得产品可以进入高效率的流水生产，节省开发和生产成本（标准化）。各模块间存在着特定的数字关系（模数化），可以组合成需要的多种形态模式（多样化）。各模块间具有通用关系，在不同的情况下可能充当不同的角色（通用化）。

装配式建筑空间可以通过模块化的方式进行设计，公共建筑的基本单元模

块一般是指标准的结构空间。居住建筑则是以套型为基本单元模块。模块应是可组合、分解和更换的单元。

（3）多样化的组合，总图规划和建筑组合设计应遵循少规格、多组合的原则。在装配式建筑设计中，不仅要求构件和部品规格要少，标准化程度要高。也要充分考虑城市历史文脉、发展环境等因素，考虑建筑周边环境与交通人流等因素，考虑使用人的习惯和情感因素等，个性化和多样化是建筑设计的永恒命题。但不要把标准化和多样化对立起来，二者的巧妙配合能够帮助我们实现标准化前提下的多样化和个性化。以住宅为例，可以用标准化的套型模块组合出不同的建筑形态和平面组合，创造出板楼，塔楼，通廊式住宅等众多平面组合类型，为满足规划的多样化要求提供了可能。

（4）合理的结构选型，不同的结构选型适用于不同的建筑高度和使用功能，装配式建筑包括的结构类型很多，包括剪力墙结构、框架结构、钢结构、木结构、混合结构等。应结合建设目标及建筑功能等要求，选用合理的结构形式。

（5）均匀规则的结构布局，在建筑设计中要从结构和经济性角度优化设计方案，避免不必要的不规则和不均匀布局。建筑平面设计的规则性，既有利于结构的安全性，也有利于减少预制构件的类型，实现经济性。不规则的平面会导致各种非标准的构件，增加预制构件的规格数量及生产安装的难度，不利于降低成本及提高效率。形体不规则的建筑，在相同的抗震设防条件下，要比形体规则的建筑耗费更多的结构材料，不利于节材。

（6）重视预制构件和建筑部品的重复使用率，预制构件的重复使用率越高，越有利于机械化生产和易于建造。通过控制在同一项目中同一类型的构件的规格数量，并保证其占有构件总数量的较大比重，可控制项目的标准

化程度。因此预制构件和建筑部品的重复使用率是项目标准化程度的重要指标。

五、立面设计

装配式建筑的外墙由各类预制构件和部品构成。立面设计既要体现工厂化生产和装配式施工的典型特征。也要在坚持标准化设计的基础上实现多样化，避免“千篇一律”“千楼一面”。对于前者，要利用标准化、模块化、系列化的户型组合特点，控制好类型与数量。处理好立面设计和预制构件和部品的关系，立面设计是总体，预制构件和部品是局部，立面构成是总体和局部的集成和统一。

实现立面形式的多样化，是装配式建筑设计的重要方面。对于后者，首先是组合的多样化：通过标准模块多样化组合，实现了建筑形体和空间的变化。其次，以装配式住宅为例，立面由预制外墙、预制阳台及空调板、预制外挂墙板、预制女儿墙、预制屋顶及入口构件、外门窗、护栏、遮阳、空调栏板等要素构成。在设计中，可将外墙的几何尺寸视为不变部分，并保持预制装配的外墙标准模块的几何尺寸不变来实现标准化，满足工厂生产的规模化需求。而预制构件和部品外表面的色彩、质感、纹理、凹凸、构件组合和前后顺序等是可变的。立面设计可选用装饰混凝土、清水混凝土、涂料、面砖或石材反打、不同色彩的外墙饰面等实现多样化的立面形式；预制阳台和空调板等可以通过进深、面宽、空间位置等实现多样化。预制挂板、空调隔板、百叶、门窗、外墙部品及栏杆等非结构构件及部品，可以更多个性化手段实现多样化目标，如图 6-9~ 图 6-13 所示。

图 6-9　同一标准户型建成项目外观 1

图 6-10　同一标准户型建成项目外观 2

图 6-11　同一标准户型建成项目外观 3

图 6-12　同一标准户型建成项目外观 4

图 6-13　同一标准户型建成项目外观 5

六、节点及构造设计

预制构件是装配式建筑的基本构成要素，其构造设计和相互之间的连接节点设计非常重要。主要内容有外墙节点及构造、内墙节点及构造、楼地面节点及构造、各部分预制构件及建筑部品间的连接节点及构造等。

装配式建筑的各类节点及构造设计应满足结构、热工、防水、防火、保温、隔热、隔声及建筑造型设计等要求。预制外墙的各类接缝必须进行防火及防水处理。预制外墙的各类接缝设计应构造合理、施工方便、坚固耐久，并结合本地材料、制作及施工条件进行综合考虑。

我国南北气候差异较大，地域差异也造成建筑外墙在保温、防水等方面不同的需求及做法，设计时因根据实际情况进行综合考虑。

新型装配式建筑是近 10 年再次进入公众视野的。不同于国内 20 世纪 50 至 80 年代建立在苏联体系的研究实践，21 世纪的新型装配式建筑集成了国际上以美、日、欧为代表的先进技术和工艺并与国内的实际情况相结合。研究和实践的时间比较短，需要解决的问题很多。本讲不可避免存在偏颇和遗漏之处，欢迎大家批评指正。

○ 第七讲 模数协调——装配式建筑集成设计规则

模数协调在传统的现浇混凝土施工方法中，有相当长一段时间没有受到重视，部品部件等工业化产品（比如门窗等）在建筑中的应用大多采取现场测量，定制化加工的方式，质量和性能因此不易提升，造成的资源型浪费较为突出。也正是实际应用较少，业内人士对此概念的理解参差不齐，一定程度影响了模数和模数协调的广泛应用。

模数协调的概念大家比较容易从标准中去读懂，总体来看，模数和模数协调是工业化的基础。工业化离不开标准化，而标准化的基础是模数化，如果缺失了建筑模数，就不可能实现标准化。通过建筑模数不仅能协调预制构件与构件之间、建筑部品与部品之间以及预制构件与建筑部品之间的尺

寸关系，减少、优化部件或组合件的尺寸，使设计、制造、安装等环节的配合简单、精确，基本实现土建、机电设备和装修的“集成”和大部分建筑部品部件的“工厂化制造”。而且还能在预制构件内在的构成要素（如钢筋网、预埋管线、点位等）之间形成合理的空间关系，避免交叉和碰撞，如图 7-1、图 7-2 所示。

模数协调的目的是实现建筑部件的通用性及互换性，使规格化、通用化的部件适用于各类常规建筑，满足各种要求。同时，大批量的规格化、定型化部件的生产可稳定质量，降低成本。通用化部件所具有的互换功能，可促进市场的竞争和部件生产水平的提高，如图 7-3 所示。

模数协调的方法有很多，在实际应用中，往往通过“优先尺寸”来构建建筑模数控制系统。“优先尺寸”是从基本模数、导出模数和模数数列中事先挑选出来的模数尺寸。优先尺寸越多，则涉及的灵活性越大，部件的可选择性越强，但制造成本、安装成本和更换成本也会增加；优先尺寸越少，

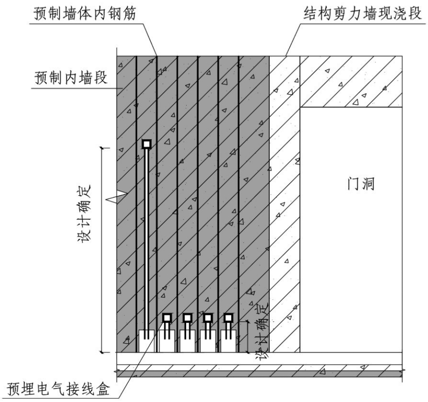


图 7-1　墙体钢筋网、预埋管线、点位间的模数协调

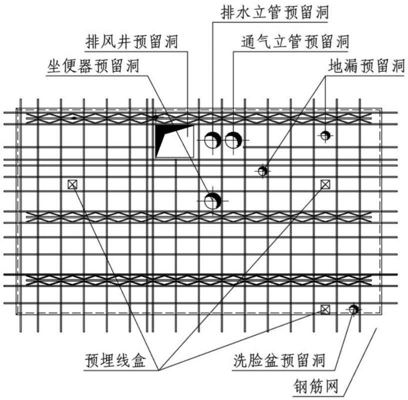


图 7-2　楼板钢筋网、预留洞、点位间的模数协调

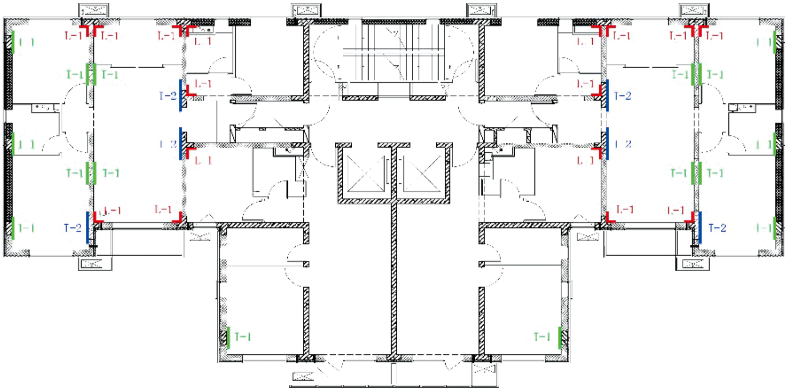


图 7-3　连接节点通过模数协调降低模具种类

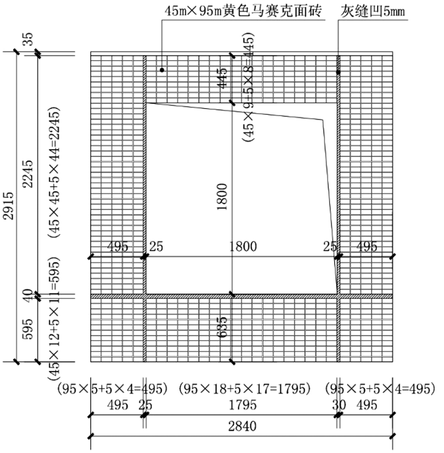
则部件的标准化程度越高，但实际应用受到的限制越多，部件的可选择性越低。

模数协调的基本概念较为抽象，相关规则较多，和工业化大生产关联较大。相比传统方式，我们这方面非常缺少经验，因此往往难以理解，应用起来更难融会贯通，需要更加有针对性的解读。本讲改编自作者 2017 年初为国家行业标准《工业化住宅尺寸协调标准》第四章所写的初稿，更多地带有个人在这个方面的一些认识。虽然其中的不少条款后来没有完全采用，但其更为直接和更有针对性，不乏一些“大胆”的提法。编撰成文，欢迎大家争鸣。

装配式建筑集成设计尺寸协调规则

一、通用规则

（1）主体结构宜与建筑功能空间和室内装修进行尺寸协调，结构构件宜与建筑部品部件、建筑设备等进行尺寸协调。



正视图

图 7-4　预制构件排砖设计采用界面定位法

（2）建筑、结构平面设计应统一采用单线模数网格，并采用轴线定位法。建筑、结构剖面设计应统一采用界面定位法，并定位建筑完成面和室内净高。

（3）应采用平面模数网格与剖面模数网格共同构成的建筑模数空间网格作为集成设计的几何控制系统。

（4）设备及管线设计应采用界面定位法，并通过尺寸协调关联建筑模数网格。

（5）装饰装修设计应采用界面定位法，并通过尺寸协调关联建筑模数网格，如图 7-4 所示。

（6）一体化集成设计中，应制定模数化的建筑平面轴网、剖面层高及净高的总体尺寸控制规则。实现建筑、结构、设备及管线、装饰装修全系统的尺寸协调。

二、总体尺寸协调规则

（1）建筑模数空间网格由 X、Y、Z 三维方向尺寸构成，X、Y 方向为平面模数网格，采用轴线定位法，优先尺寸选用 2m。Z 方向为立面及剖面模数网格，采用界面定位法，优先尺寸为 1m。

（2）建筑总的模数空间网格和部品部件尺寸为第一层级，建筑、结构模数网格和内装净空间尺寸为第二层级，设备及管线定位为第三层级。序号靠后的层级要服从和服务于序号靠前的层级。

（3）宜在总体模数空间网格控制下，依据部品部件尺寸来确定内装界面定位及接口尺寸，然后再依据内装设计确定设备和管线点位界面定位的步骤，

进行尺寸协调。

（4）套内空间设计时，宜在总体模数空间网格控制下，首先依据内装部品部件尺寸确定收纳、厨房和卫生间等的以内装完成面界面定位，再确定其他功能房间的界面定位。

（5）套内空间根据界面定位法确定模数空间，室内模数空间组合宜通过模数中断区关联建筑及结构模数空间。

（6）起居室、餐厅、书房、卧室等空间，由于内装部品部件较少，可以作为非模数空间，帮助其他模数空间实现与总体模数空间网格的协调。

三、部品部件尺寸协调规则

（1）机电设备及管线在预制结构构件中的预留预埋位置应遵守结构设计模数网格，在结构容许的位置进行预留预埋，不应后剔凿构件。

（2）建筑围护系统与结构构件的尺寸协调，当采用内嵌式节点时，宜通过连接空间（也称为“空隙”）进行尺寸协调；当采用外挂式节点时，宜采用外墙构件与结构之间的调整面进行尺寸协调。

（3）预制构件应满足生产制作、施工安装的尺寸协调要求。

（4）预制构件控制尺寸、结构配筋、预留预埋洞口、内置的设备及管线等宜进行尺寸协调。

（5）预制构件之间采用后浇混凝土连接时，后浇混凝土部分的宽度尺寸宜与预制构件、关联部品、生产和施工的模具、模板等进行尺寸协调。

（6）外门窗应采用标准尺寸的门窗部品，门窗应与门窗部位的室外装饰件和室内装修进行尺寸协调。

（7）在满足建筑功能要求的同时，剖面的层高尺寸宜符合预制楼梯的标准化要求。

（8）厨房卫生间的设备及家具部品与内装完成面之间宜通过模数部件和模数空间进行尺寸协调。当出现非模数部件或非模数空间时，宜通过技术尺寸进行尺寸协调。

（9）内装修的设计与尺寸协调应符合下列规定：

1）宜按模数网格进行设计，并与主体结构、建筑功能空间的模数网格进行协调。

2）应与设备及管线的定位进行协调。

3）宜采用基本模数网格或分模数网格，分模数宜为 m/2、m/5、m/10。

4）当建筑空间尺寸无法完全满足内装修部品模数化要求时，应采用标准化部品，并宜在模数中断区设置可调节措施。

第八讲 模块组合——保障性住房厨房卫生间模块标准化设计

保障性住房面积不大，需求复杂而多样，功能性、适应性和经济性要求高，为了节省更多的空间来提升和满足保障性住房的其他功能对空间的需求，必须做到空间的集约和最大化利用。保障性住房厨房和卫生间的设计应该以厨房和卫生间设备与人体活动空间组合尺度的最低要求为依据，合理地对厨房的内部设施进行优化设计组合。在设计过程中始终以使厨房使用面积的最大最优化利用和空间的集约化设计作为原则来控制整体。

首先要通过精细化设计满足基本功能需求，对扩展功能（如收纳等）需求应该在满足基本功能的前提下尽量满足。其次，要在设计中建立起厨卫空间面积和使用功能之间的正比关系，而不是厨房卫生间面积和居室面积之间的正比关系。通过功能模块的增减，在满足基本使用功能的基础上，逐

级通过增加功能性模块扩展其功能，最后，在保障性住房中积极推进“实用设计”，从而提高保障性住房空间的使用效率，让居住者“得实惠”。

在保障性住房的厨房卫生间设计中，采用标准化和模块化的系统设计思路和集成方式，对基本的冰箱、洗池、灶台、烟机等厨房设备和马桶、盥洗池、淋浴间等卫浴设备设定统一的尺寸要求，由工厂来批量生产，以保证其质量，便于日后的维护、维修和管理。既是提高保障性住房性能和质量的必由之路，也是实现保障性住房标准化设计、工厂化生产、装配化施工和信息化管理的必由之路。

普通住宅厨房卫生间部品正在朝集成化、模块化方向发展。我们有针对性地选择推荐了各十个适合于保障性住房的模块化厨卫，基本思路是将不同的厨卫功能空间按不同的功能进行模块划分，结合厨卫中特定的使用行为，研究其活动空间和厨卫设施和部品占用的实体空间，考虑不同模块之间互相替换和后期转换的可能性。同时，利用空间借用手法，达到空间高效利用。这些空间对应着若干独立的功能性部品、设备设施等产品品类，在装修施工时，只需现场装配即可。

标准化的厨卫模块需要统一进行模数协调，在保障性住房厨房和卫生间设计中，建议以 300mm 为基准模数，按 300mm 的级差进行厨房卫生间几何尺寸的变化，并力求在尺寸递增的同时实现厨卫模块功能的相应递增和提升。以达到在标准化的基础上通过模数化和模块化，结合工业化大生产实现保障性住房厨房卫生间的规模化和系列化。这是因为：

（1）可以减少装修阶段墙地砖的现场加工量，降低装修垃圾排放和水电等资源的浪费。

（2）经过深入调研，300mm×300mm 的墙地砖市场占有率高，属于主流尺寸。采用符合 300mm×300mm 墙地砖模数的数列，比较容易实现产业化供应链和产品规模化带来的成本降低及效益提升。

（3）300mm×300mm 的基本模数与模数协调标准较为匹配，便于整体协调。

（4）卫生间的模数尺度从 1200mm、1500mm、1800mm、2100mm、2400mm 的逐级递进中，以 300mm 的梯级变化比较容易与卫生间的功能提升发生关联。比如 900mm×1200mm 的卫生间宽度变化为 1200mm×1200mm 后，可以比较容易地实现最基本的三大功能需求：盥洗、便溺、洗浴。并对应设置手盆、马桶、淋浴等卫浴部品。而 100mm 和 200mm 的梯级变化对功能的影响较小。比如尺寸为 900mm×1200mm 的卫生间变化为 1000mm×1200mm 和 1100mm×1200mm 后，其功能均只能满足便溺空间的要求，兼做淋浴空间，并不能附加更多的基本功能和扩展功能。

（5）厨房的模数尺度从 1500mm、1800mm、2100mm、2400mm、2700mm、3000mm 的逐级递进中，以 300mm 的梯级变化比较容易与厨房的功能提升发生关联。比如 2100mm 的厨房操作面变化为 2400mm 后，可以比较轻易地实现最基本的三大功能需求：洗、切、烧。而 100mm 和 200mm 的梯级变化对功能影响较小。比如尺寸为 2100mm 的厨房变化为 2200mm 后，其功能并不能显著扩展。

下面分别结合卫浴和厨房进一步探讨厨卫模块的标准化设计规律：

一、保障性住房标准化卫生间十个规格模块系列应用解析

1. 功能解析

在卫生间标准化模块的内部空间设计中，首先考虑其功能要满足卫生间最

基本的三大功能需求：盥洗、便溺、洗浴。对应此三大基本功能分别设置手盆、马桶、淋浴等卫浴部品。其次，为了节省更多的空间来提升和满足保障性住房的其他功能对空间的需求，必须做到空间的集约和最大化利用。鉴于此，保障性住房卫生间的设计应该以卫生间设备与人体活动空间组合尺度的最低要求为依据，合理对卫生间的内部设施进行优化设计组合。

2. 空间解析

卫生间模块内部，按三大基本功能共划分为三个空间，分别为盥洗空间、便溺空间和洗浴空间，根据卫生间设备与人体活动空间组合尺度可知，盥洗空间的最小尺度要求为 900mm×660mm、便溺空间的最小尺度要求为 1200mm×560mm 和洗浴空间的最小尺度要求为 900mm×900mm ，其最小尺寸相加得到的最小尺寸为 1200mm×2120mm 或 1860mm×1800mm。而本卫生间模块是一个以 300mm 模数网格构建的 1500mm×1500mm 标准的模块。在如此有限的空间中如何能满足这些基本要求？为此，我们采用了空间借用的方法，通过设计组合把盥洗空间与便溺空间置于两个不同的方向上，让这两个空间与入口空间都存在一定的重合，可以顺其自然的借用入口空间，同时盥洗空间与便溺空间之间也存在一部分重合空间，可以通过彼此空间互借，达到空间的最大化、高效化利用。在解决洗浴空间面积不足的问题时，我们采取了在洗浴空间与便溺空间、盥洗空间之间安装浴帘的方法来节约空间，洗浴时把浴帘拉上，很好地起到了空间界定的作用，保证了洗浴空间的完整性与私密性，平时把浴帘拉开既不占用空间又满足了便溺与盥洗的空间需求。满足各个功能空间需求的目的，并使其各取所需、相得益彰。在整个设计过程中始终以卫生间使用面积的最大最优化利用和空间的集约化为原则来控制整个设计。卫生间标准化设计对基本的卫生设备如手盆、马桶、淋浴设定统一的尺寸要求，由工厂来批量订制生产，

以保证其质量，同时便于日后的维护、维修和管理。上述标准化设计原则可以通过以下十个规格系列的应用解析进一步清晰和明确。

3. 尺寸协调解析

卫生间的装修完成面是部品部件和结构构件之间乃至和建筑整体之间重要的尺寸协调界面。其中重要的因素在于“建筑做法”，亦即“装修层厚度”。当前主要的装修做法有三种：其一是传统的水泥砂浆抹灰贴砖做法，需要在各边预留 30mm 的贴砖厚度，实际结构净空尺寸为 1560mm × 1560mm；其二是全干式工法的整体卫浴，采用工业化的生产方式，将许多卫浴设施模压成型，一体化防水底盘或浴缸和防水底盘的组合以及墙板、顶板构成的整体框架，配上各种功能洁具，通过配套现场安装等方式组合形成独立的卫生单元。整体卫浴中包括完备的上、下水管道配件及成套安装零件。整体卫浴安装时考虑结构需求各边应预留 50mm 的厚度。其三是预制盒子式卫生间，作为整体卫生间的一种特殊形式，采用混凝土整体预制，在工厂完成整个六面体的生产，其中包括完整的卫浴设施，并配上各种功能洁具。盒子式卫生间安装后不用再进行卫生间的现场施工。

本书提出的十种保障性住房卫生间标准化设计，方法和理念是相通的。在设计时应结合结构、建筑的实际，选择适宜的卫生间模块，并选用与之配套的接口做法，实现建筑、结构、机电内装的一体化。

4. 十个标准模块规格组合解析

规格 1——9012 +X：可推荐的标准化卫生间的最小尺寸，提供了 900mm × 1200mm 装修完成面净尺寸控制的模数空间，满足不小于 900mm × 1200mm

的便溺空间，并借用该便溺空间为淋浴空间使用，从而实现了最小的卫生间标准模块。其盥洗空间分离到便溺空间之外，属于新增的“X”空间，借用临近的房门开启空间，也满足了 600mm × 1200mm 的人体尺度和最小盥洗空间功能要求，该“X”模块可以根据具体情况分别采用 600mm 或 900mm 的装修完成面模数控制，600mm 宽的盥洗空间略显局促，但能够通过借用右侧走道空间得以改善。需要注意的是，由于尺寸过于紧张，300mm × 750mm 的标准化管井及风道空间需要单独设计，如图 8-1 所示。

规格 2——1212：是最小尺寸空间里实现三个基本功能的保障性住房卫生间模块，淋浴借用了便溺空间，盥洗功能采用了一体化的面盆及马桶，使空间的借用达到一个比较极致的程度。同样需要注意的是，由于尺寸过于紧张，300mm × 750mm 的标准化管井及风道空间需要单独设置，如图 8-2 所示。

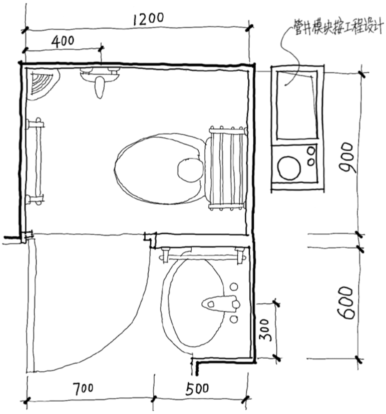


图 8-1　模块 9012+X

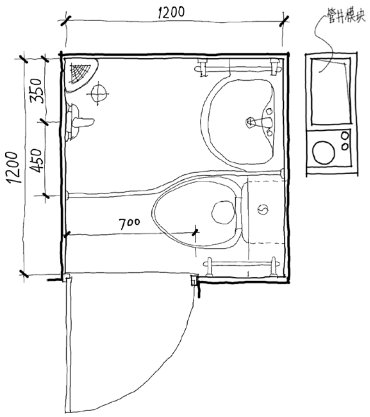


图 8-2　模块 1212

规格 2+X——1212+X：1200mm × 1200mm 基本模块 +X 模块，将盥洗空间分离到便溺空间之外，借用临近的房门开启空间。该“X”模块可以根据具

体情况分别采用 600mm 或 900mm 的装修完成面模数控制。同样需要注意的是，由于尺寸过于紧张，300mm×750mm 的标准化管井及风道空间需要单独设计，如图 8-3 所示。

规格 3——1512：本模块比 1200mm×1200mm 模块扩大了 300mm，在此模块空间中能够布置 750mm×300mm 的管井及通风道，其他功能与上一级模块空间一样。淋浴空间、便溺空间和盥洗空间的相互借用强度很大，需要结合人体工学研究进一步精细化设计，如图 8-4 所示。

规格 3+X——1215+X：1200mm×1500mm 基本模块 +X 模块，借用临近的房门开启空间将盥洗空间分离到便溺空间之外。该“X”模块可以根据具体情况分别采用 600mm 或 900mm 的装修完成面模数控制。本模块空间淋浴空间、便溺空间和盥洗空间相对独立，干湿分区，750mm×300mm 的管井及通风道正好利用了淋浴空间的富余空间，如图 8-5 所示。

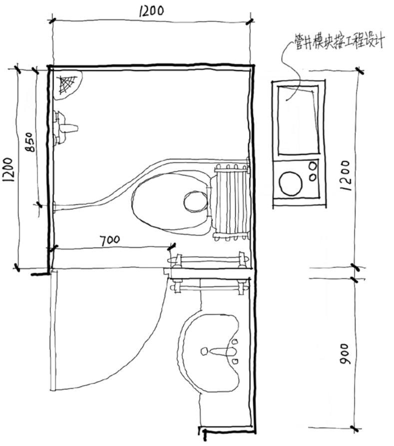


图 8-3　模块 1212+X

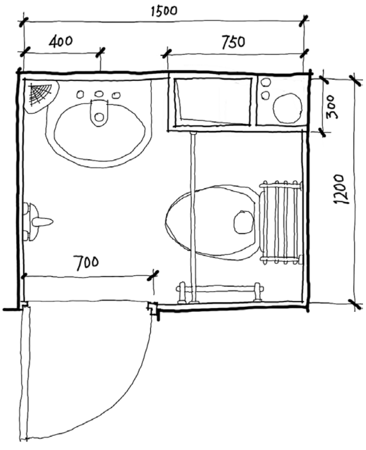


图 8-4　模块 1512

规格 4——1515：本模块比 1200mm×1500mm 模块扩大了 300mm，在此模块中，三个基本功能空间均能做到互有借用并相对独立，淋浴空间通过浴帘可以与另外两个功能空间完全分离。功能性和使用舒适度均较好，如图 8-6 所示。

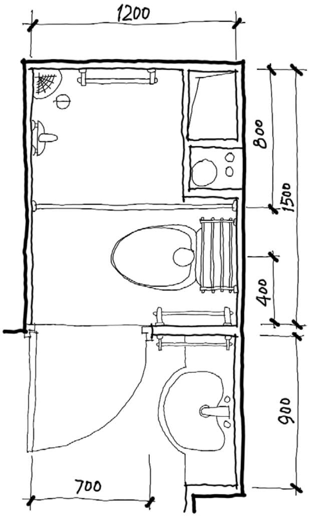


图 8-5　模块 1215+X

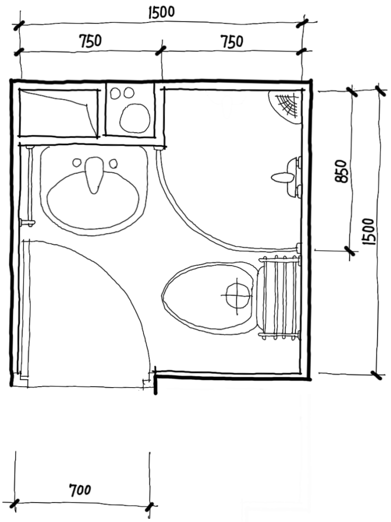


图 8-6　模块 1515

规格 4+X——1515+X：1500mm×1500mm 基本模块 +X 模块的方式，由于上一级模块已经具备了卫生间的基本功能，新增的“X”空间可以利用为洗衣，还可以利用其上部空间做收纳空间或热水器或太阳能储水罐等扩展功能。当然，也可以用作盥洗空间，如图 8-7 所示。

规格 5——1218：本模块比 1500mm×1500mm 模块宽度扩大了 300mm，进深缩小了 300mm，在此模块中，三个基本功能空间呈“一”字型布局，均能做到互有借用并相对独立，淋浴空间通过浴帘可以与另外两个功能空间完全分离。功能性和使用舒适度均较好，如图 8-8 所示。

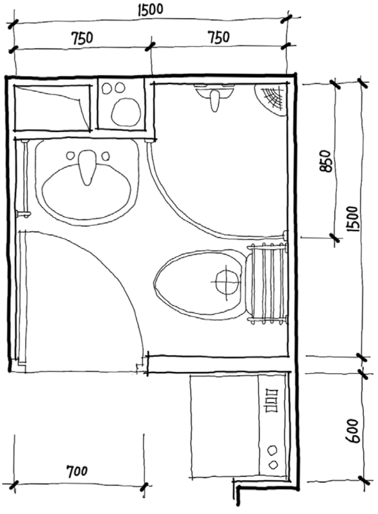


图 8-7　模块 1515+X

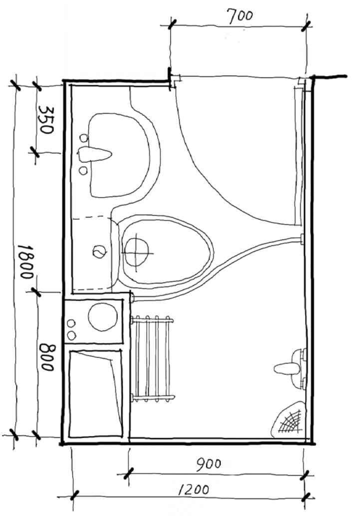


图 8-8　模块 1218

规格 5+X——1218+X：由于上一级模块已经具备了卫生间的基本功能，新增的“X”空间可以利用为洗衣空间，还可以利用其上部富余空间做收纳空间或热水器或太阳能储水罐等扩展功能，如图 8-9 所示。

规格 6——1815：本模块比 1500mm×1500mm 模块扩大了 300mm，在此模块中，三个基本功能空间借用强度较低，各自相对独立，淋浴空间满足了 900mm×900mm 的舒适尺度，通过浴帘可以与另外两个功能空间完全分离，功能性和使用舒适度均较好，如图 8-10 所示。

规格 7——2112：本模块比 1500mm×1800mm 模块宽度扩大了 300mm，进深缩小了 300mm，此模块中三个基本功能空间呈“一”字型布局，各功能空间的借用程度较低，独立性较高，淋浴空间通过浴帘可以与另外两个功能空间完全分离，功能性和使用舒适度均较好，如图 8-11 所示。

规格 8——2115：宽度扩大了 300mm，可以将门内开并居中布置，浴帘轨道可以特殊设计并增加一个干衣临时存放空间，其下部可以用于墩布桶等家务功能，马桶前部空间也提供了增加收纳的可能性。此外，本模块具备设计成无障碍卫生间的条件，如图 8-12 所示。

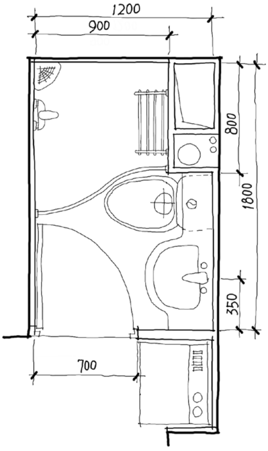


图 8-9　模块 1218+X

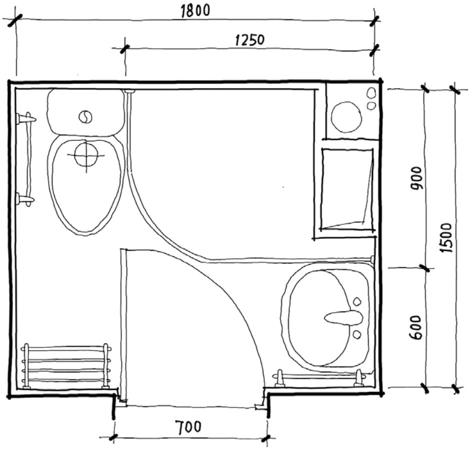


图 8-10　模块 1815

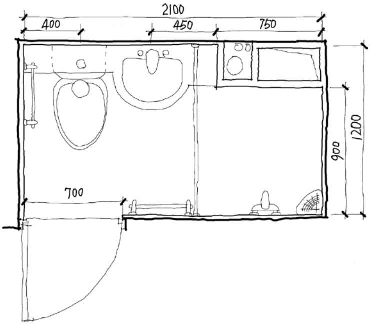


图 8-11　模块 2112

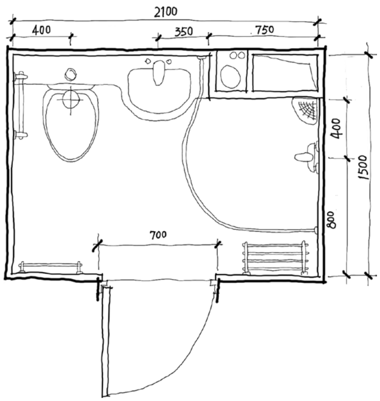


图 8-12　模块 2115

规格 9——1215-D：在保障性住房中存在很多居住人口超过 5 人，家庭结构为三代以上共居一个套型的情况，为了应对这种情况，在有限的条件下改善居住者的居住环境，使保障对象“有尊严地居住”，我们提供了本套“双分离”标准模块的设计。本模块由 1200mm × 1500mm 的“盥洗 + 便溺”和“淋浴 + 便溺”两个子模块组合而成。从而保证洗浴、盥洗、便溺功能的各自独立，能同时满足两个人对卫生间的使用需求，如图 8-13 所示。

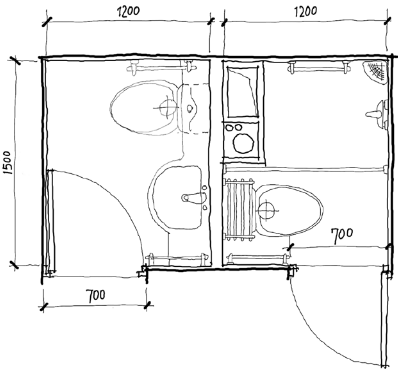


图 8-13　模块 1215-D

二、保障性住房标准化厨房十个规格模块系列应用解析

1. 功能解析

在厨房标准化模块的内部空间设计中，首先考虑其功能要满足厨房最基本的三大功能需求：“洗、切、烧”。对应此三大基本功能分别设置水槽、操作台、灶台、排油烟等部品和设备。当然，厨房还有很多扩展功能，比如“冰箱、备餐、烤箱、洗碗、消毒”等。厨房设计在考虑其标准化的同时还要满足系列化要求，功能从满足最基本的“洗、切、烧”到“全功能型”厨房，空间组合形式从借用公共交通空间的“壁龛式”厨房到独立完整的 L 型厨房，种类繁多，变化多端。

2. 空间解析

厨房模块组合按三大基本功能共划分为三个空间，分别为洗涤空间、切菜

空间和灶台空间，根据人体工学尺度和厨房设备基本尺度，洗涤空间的操作台最小尺度为 600mm × 600mm，操作空间最小尺度是 600mm × 900mm；切菜空间的操作台最小尺度为 900mm × 600mm，操作空间最小尺度是 900mm × 900mm；灶台空间的最小尺度要求为 600mm × 600mm，操作空间最小尺度是 900mm × 900mm 。考虑到 300mm 的基本模数数列要求，据此可以推导出最小的厨房净空间为 1500mm × 2100mm。在此基础上，进行模块的系列化组合并增加各种辅助功能。

3. 尺寸协调解析

本讲考虑保障性住房面积集约利用的因素，建议采用 1500mm × 2100mm，2400mm，2700mm，3000mm；1800mm × 2100mm，2400mm，2700mm，3000mm；2100mm × 2100mm，2400mm 共十个系列。

4. 十个标准模块规格组合解析

规格 1——1518 开放：1500mm × 1800mm 开放式厨房模块是保障性住房厨房推荐使用的最小尺寸，适用于没有煤气的开放式厨房，提供了 600mm × 1800mm 的家具模块组合，包含 600mm × 600mm 的洗池模块，600mm × 600mm 的备餐模块和 600mm × 600mm 的灶台模块为基本功能模块；可选 700mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，如图 8-14 所示。

规格 2——1521 开放：1500mm × 2100mm 开放式厨房模块适用于没有煤气的开放式厨房，提供了 600mm × 2100mm 的家具模块组合，包含 600mm × 600mm 的单洗池模块，600mm × 800mm 的备餐模块和 600mm ×

600mm 的灶台模块，可选 1000mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，如图 8-15 所示。

规格 3——2115：1500mm × 2100mm 标准模块可以布置 600mm × 2100mm 的家具模块组合，包含 600mm ×600mm 的沥干洗池模块，600mm × 700mm 的备餐模块，600mm × 800mm 的双眼灶台，可选 1300mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，条件允许时可增加 600mm × 900mm 的功能扩展模块变为 L 形厨房，如图 8-16、图 8-17 所示。

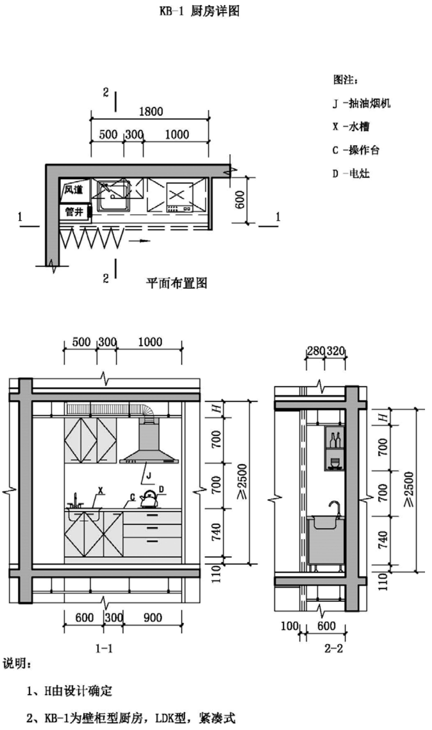


图 8-14 模块 1518 开放

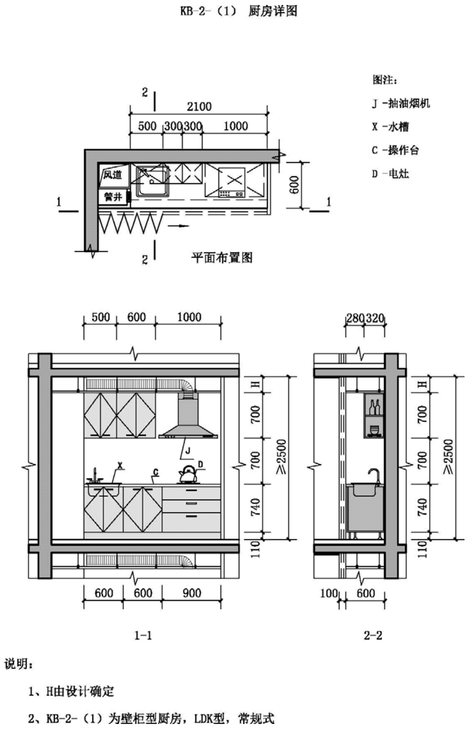
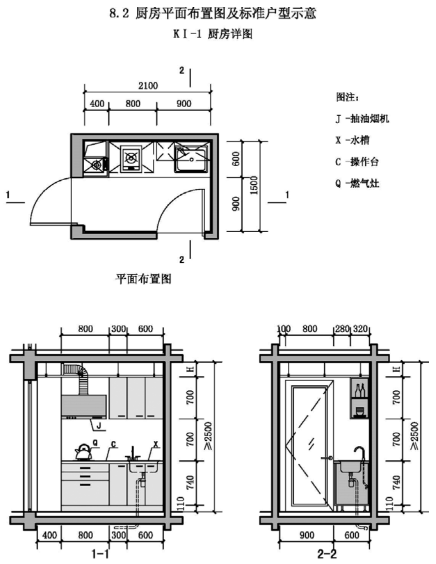


图 8-15 模块 1521 开放

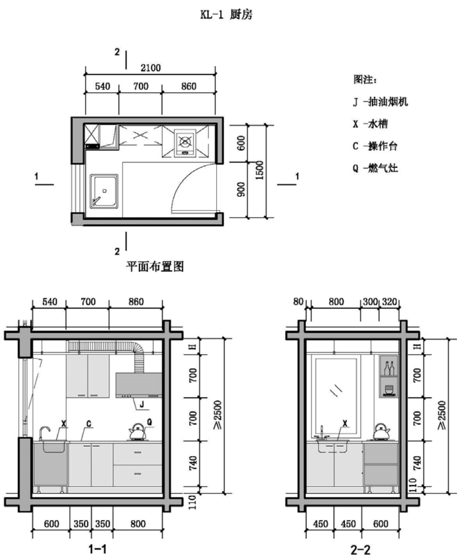


说明：

1、H由设计确定

2、K I -1为 I 型厨房，K型，适用于18层以下住宅。

图 8-16　模块 2115



说明：

1、H由设计确定

2、KL-1为L型厨房，K型，紧凑式

图 8-17　模块 2115L

规格 4——2415：可以布置 600mm × 2400mm 的家具模块组合，包含 600mm × 800mm 的双洗池模块，600mm × 800mm 的备餐模块，600mm × 800mm 的双眼灶台模块，可选 1600mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块。条件允许时可增加 600mm × 900mm 的功能扩展模块变为 L 形厨房，也可以选配 600mm 的冰箱模块，功能更齐全，如图 8-18、图 8-19 所示。

规格 5——2715：1500mm × 2700mm 标准模块可以布置 600mm × 2700mm 的家具模块组合，600mm × 800mm 的双眼灶台，可选 1300mm 的吊柜模块和

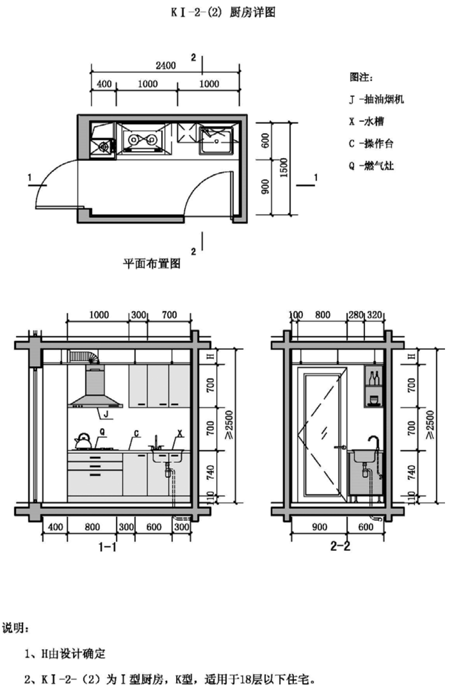


图 8-18　模块 2415

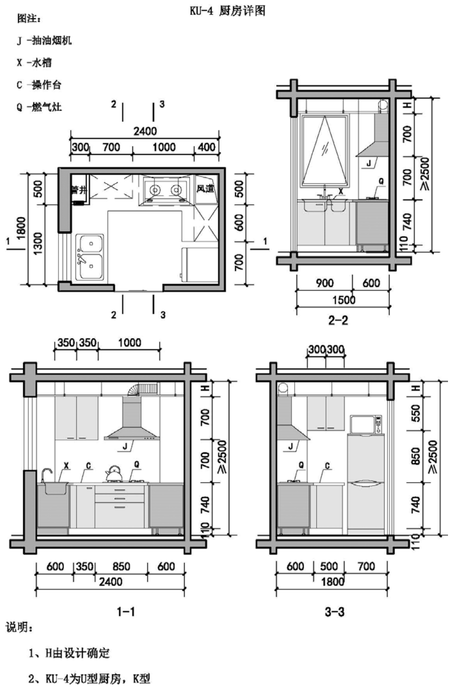


图 8-19　模块 2415L

800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，包含 600mm × 800mm 的双洗池模块，600mm × 600mm 的备餐模块，600mm × 800mm 的双眼灶台模块，增加了 600mm × 500mm 的冰箱模块；条件允许时可增加 600mm × 900mm 的扩展模块变为 L 形厨房，如图 8-20、图 8-21 所示。

规格 6——3015：1500mm × 3000mm 标准模块可以布置 600mm × 3000mm 的家具模块组合，包含 600mm × 800mm 的双洗池模块，600mm × 800mm 的备餐模块，600mm × 800mm 的双眼灶台模块，增加了 600mm × 600mm 的冰箱模块；可选 2200mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，

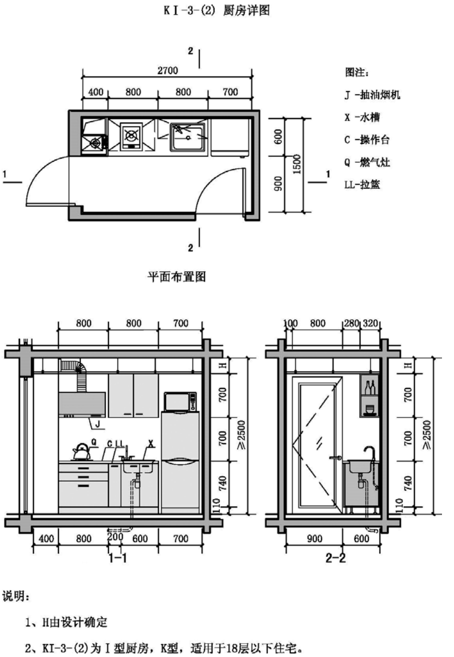


图 8-20　模块 2715

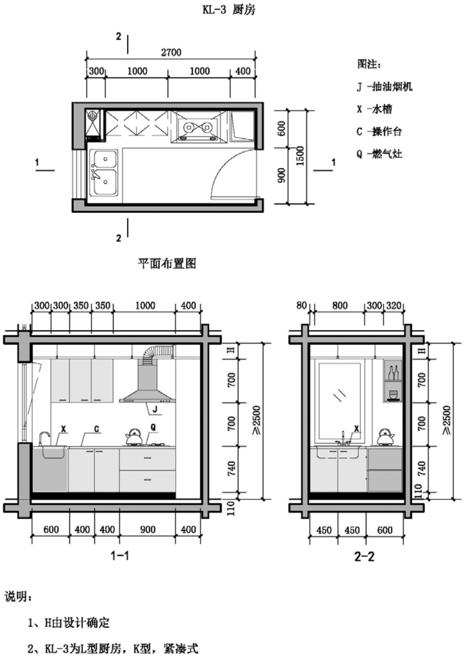


图 8-21　模块 2715L

条件允许时还可结合开门位置的调整变为 L 形厨房，如图 8-22、图 8-23 所示。

规格 7——双面布置 1521U 型模块：该标准模块可以布置 600mm × 2700mm 的家具模块组合，包含 600mm × 900mm 的双洗池模块，600mm × 900mm 的备餐模块，600mm × 900mm 的双眼灶台模块。优点是布置紧凑，功能较全；缺点是柜体需要结合管井进行裁切，活动空间仅允许一人操作，如图 8-24 所示。

规格 8——双面布置 1824U 型模块：该标准模块可以布置 600mm × 3000mm

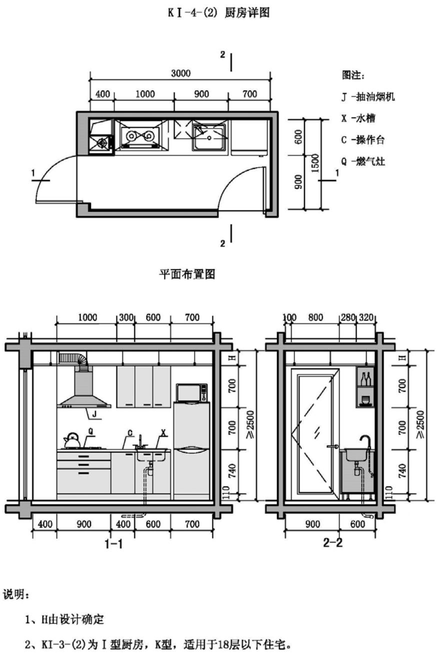


图 8-22　模块 3015

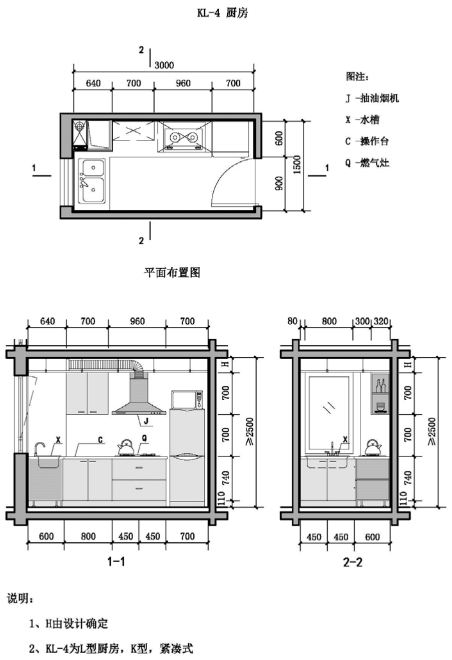


图 8-23　模块 3015L

的家具模块组合，包含 600mm×800mm 的双洗池模块，两个 600mm×400mm 的备餐模块，600mm×800mm 的双眼灶台模块为基本功能模块；增加了 600mm×500mm 的冰箱模块和两个转角模块；可选 3600mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块。优点是布置紧凑，功能全；缺点是柜体需要结合管井进行裁切，如图 8-25 所示。

规格 9——双面布置 1827U 型模块：该标准模块可以布置 600mm×3300mm 的家具模块组合，包含 600mm×800mm 的双洗池模块，600mm×700mm 的备餐模块，600mm×800mm 的双眼灶台模块为基本功能模块；增加了 600mm×500mm 的冰箱模块、600mm×400mm 备餐模块和两个转角模块；

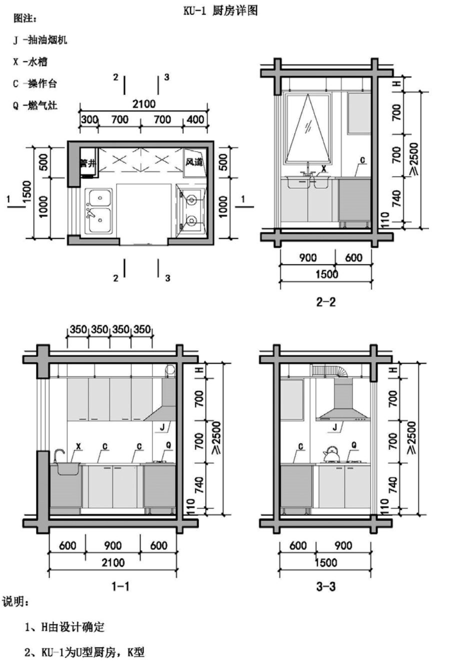


图 8-24　模块 1521U

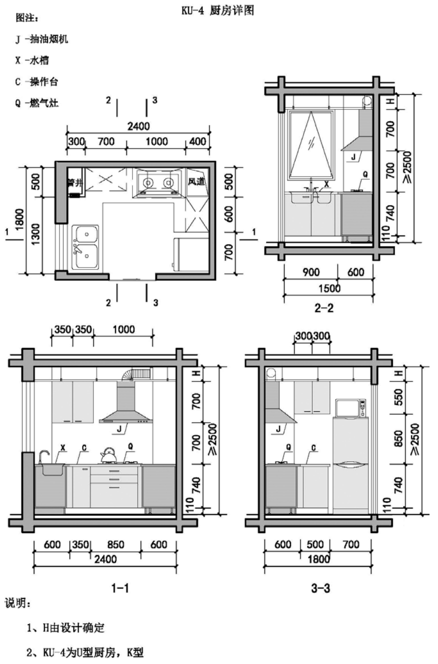


图 8-25　模块 1824U

可选 3900mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块。

规格 10——双面布置 1530U 型模块：该标准模块可以布置 600mm × 3300mm 的家具模块组合，包含 600mm × 800mm 的双洗池模块，600mm × 1000mm 的备餐模块，600mm × 800mm 的双眼灶台模块为基本功能模块；增加了 600mm × 500mm 的冰箱模块、600mm × 400mm 备餐模块和两个转角模块；可选 4200mm 的吊柜模块和 800mm 的油烟机模块作为功能扩展模块，如图 8-27 所示。

保障性住房厨房和卫生间模块系列选用见表 8-1、表 8-2。

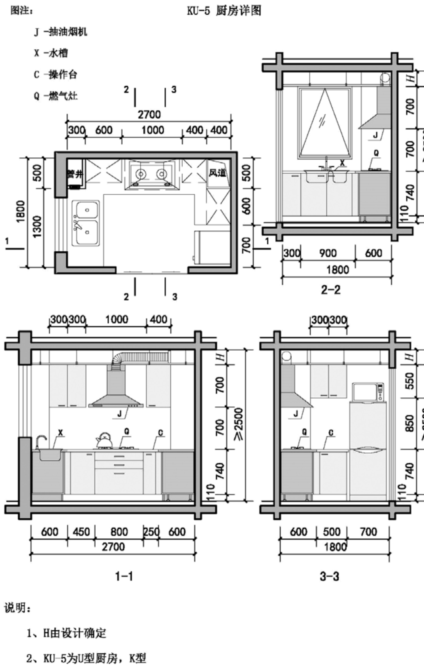


图 8-26　模块 1827U

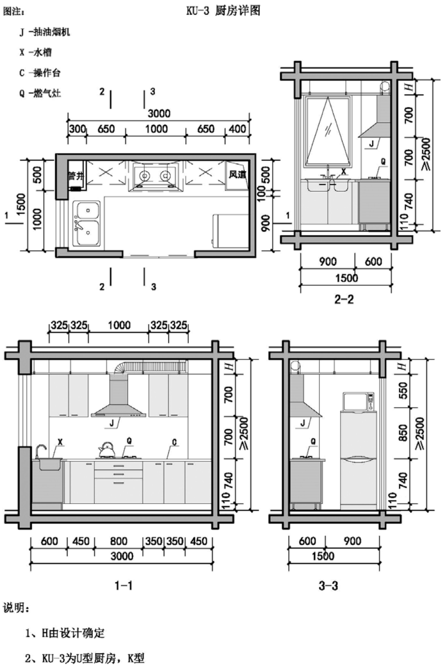
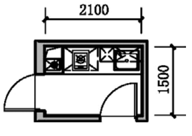
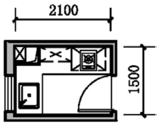
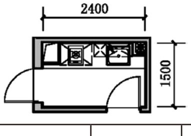
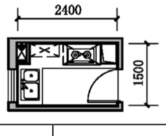
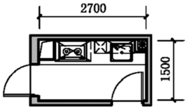
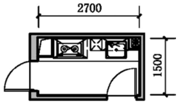
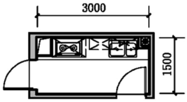
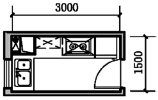
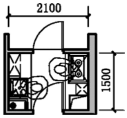
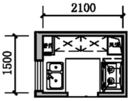
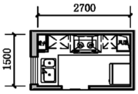
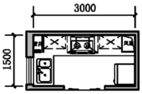
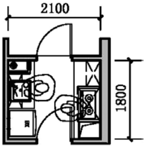


图 8-27　模块 1530U

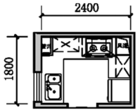
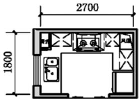
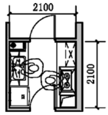
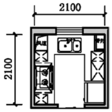
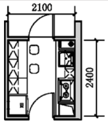
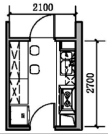
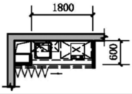
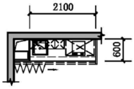
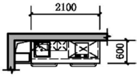
表 8-1　保障性住房厨房模块系列选用表

类型 尺寸	I 型			L 型		
2100mm × 1500mm （面积：3.15m^2）						
特性	编号：KI-1	K 型	PXX	编号：KL-1	K 型	PXX
2400mm × 1500mm （面积：3.60m^2）						
特性	编号：KI-2	K 型	PXX	编号：KL-2	K 型	PXX

（续）

类型 尺寸	I 型			L 型		
2700mm × 1500mm （面积：4.05m²）						
特性	编号：KI-3	K 型	PXX	编号：KL-3	K 型	PXX
3000mm × 1500mm （面积：4.50m²）						
特性	编号：KI-4	K 型	PXX	编号：KL-4	K 型	PXX
类型 尺寸	II 型			U 型		
2100mm × 1500mm （面积：3.15m²）						
特性	编号：KII-1	K 型	PXX	编号：KU-1	K 型	PXX
2700mm × 1500mm （面积：4.05m²）						
特性				编号：KU-2	K 型	PXX
3000mm × 1500mm （面积：4.50m²）						
特性				编号：KU-3	K 型	PXX
2100mm × 1800mm （面积：3.78m²）						
特性	编号：KII-2	K 型	PXX			

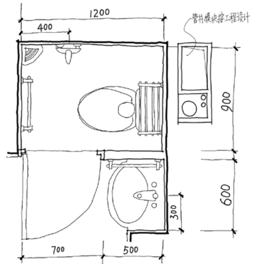
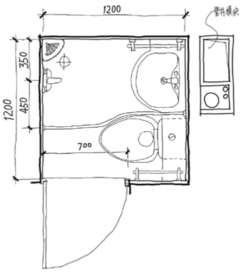
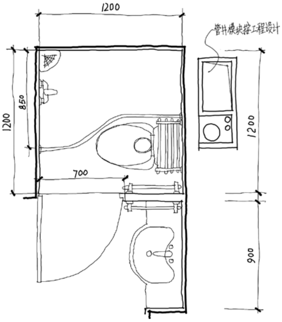
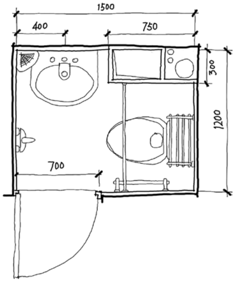
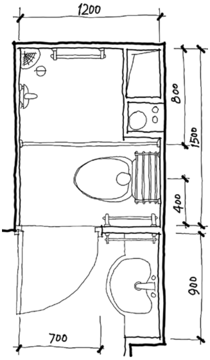
（续）

类型 尺寸	II 型			U 型		
2400mm × 2100mm （面积：4.32m²）						
特性				编号：KU-4	K 型	PXX
2700mm × 1800mm （面积：4.86m²）						
特性				编号：KU-5	K 型	PXX
2100mm × 2100mm （面积：4.41m²）						
特性	编号：KII-3	K 型	PXX	编号：KU-6	K 型	PXX
2400mm × 2100mm （面积：5.04m²）						
特性	编号：KII-4	DK 型	PXX			
2700mm × 2100mm （面积：5.67m²）						
特性	编号：KII-5	K 型	PXX			
类型 尺寸	壁柜型					
1800mm × 600mm （面积：1.08m²）						
特性	编号：KB-1	LDK 型	PXX			
2100mm × 600mm （面积：1.26m²）						
特性	编号：KB-2-（1）	LDK 型	PXX	编号：KB-2-（2）	LDK 型适老	PXX

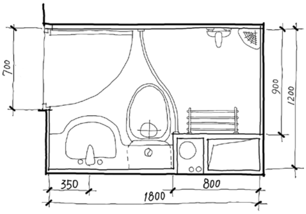
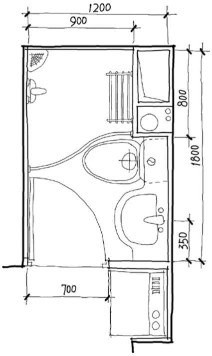
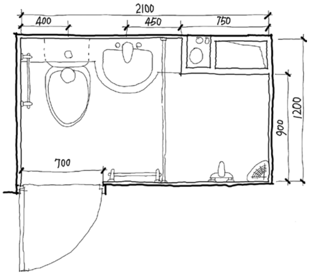
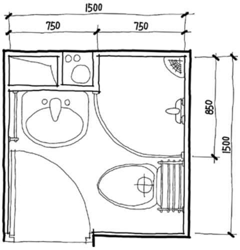
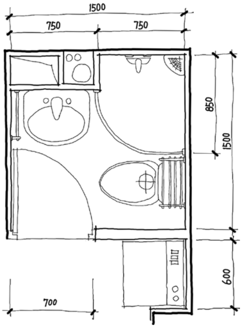
说明：

1. 本表尺寸按 3 模递增设计，尺寸为厨房净尺寸。
2. 除壁柜型厨房外，尺寸均含管道并及烟道尺寸。

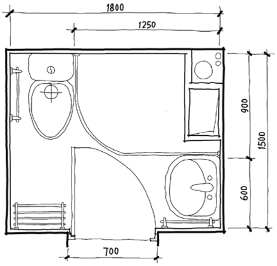
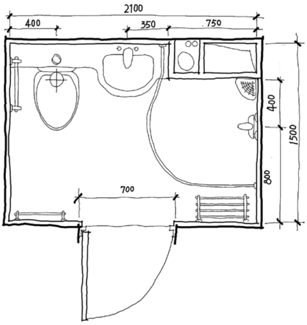
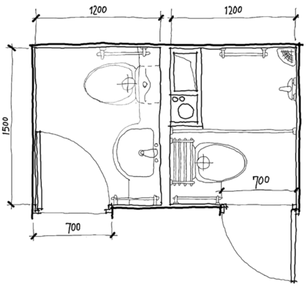
表 8-2　保障性住房卫生间模块系列选用表

<table>
<tr><th>类型
尺寸</th><th>常规型</th><th>干湿分离 1+X 型</th></tr>
<tr><td>900mm × 1200mm（面积 1.08m²）</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>1200mm × 1200mm（面积 1.44m²）</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1200mm × 1500mm（面积 1.80m²）</td><td></td><td></td></tr>
</table>

（续）

类型 尺寸	常规型	干湿分离 1+X 型
1200mm × 1800mm（面积 2.16m²）		
1200mm × 2100mm（面积 2.52m²）		—
1500mm × 1500mm（面积 2.25m²）		

（续）

类型 尺寸	常规型	干湿分离 1+X 型
1500mm × 1800mm（面积 2.70m^2）		—
1500mm × 2100mm（面积 3.15m^2）		—
1500mm × 2400mm（面积 3.60m^2）		—

〇 第九讲

系统思维——北京市装配式公租房『标准化设计』整体解决方案

2014 年，在完成北京市科委课题“北京市装配式公共租赁住房产业化技术集成研究及实验楼设计”（以下简称 “市科委课题”）之后，受北京市保障性住房建设投资公司委托，我们开展了北京市装配式保障房“标准化设计”工作，提出了北京市装配式保障房“标准化设计”整体解决方案(以下简称“整体方案”），编制了《标准设计图集》并在多个工程项目中加以应用。该方案首次系统性提出了从规划、建筑、结构、设备、电气、装修、BIM 和绿色等一体化“整体解决方案”的装配式建筑集成设计思路。

整体方案围绕公租房建设的三大需求：成本可控（建设成本，运维成本）、质量可控（过程质量，使用寿命）、运维可控（物业管理、维修需求），

提出了在公租房建设中全面推进“标准化设计”和“工业化建造方式”的整体解决方案，主要包括三个方面：

（1）用“标准化设计”集成“装配式结构”和“装配式装修”成套技术。
（2）用“装配式结构”实现“建筑底盘”对“装配式装修”的支持。
（3）通过集成设计实现提升质量和性能、提高效率、控制成本和降低运维成本的目标。

整体方案以系统工程思维为基础，是建立在整合开发、设计、生产安装、后期维护各个环节的基础上形成的全产业链解决方案。主要包括 4 大方面：

（1）设计标准化解决方案。
（2）规划多样性解决方案。
（3）立面系统解决方案。
（4）基于 BIM 的系统集成技术解决方案（包括 BIM 系统集成前提下的专业协同、信息库、结构、设备、电气、装修等解决方案）。

整体方案的思路是：通过产业化技术集成研究及实验楼设计实践，提出一体化的建筑设计控制方法，主要从规划层面，研究标准化设计前提下的多样化组合、套型设计、立面设计、技术体系等，着眼于整体设计目标，从四个方面提出系统性的解决方案：①标准化设计解决方案：根据公租房套型面积的要求，结合一体化解决方案，设计经济、实惠、好用的标准化套型模块，形成系列化的标准套型模块及子模块；②规划多样性解决方案：实现标准模块组合的多样化，以适应不同的规划要求，满足不同规划条件下的通用性和多样性需求；③立面系统解决方案：引入“墙层”理论，结合装配式建筑特点，基于标准化模块，细分“墙层”建构的层次及不同功

能，实现住宅立面的多样化设计；④基于 BIM 的系统集成解决方案：结合 BIM 信息化技术试图对各种技术要素进行集成，通过装配式公租房 BIM 信息化的平台，搭建服务于产业链中上下游的投资、开发、施工、运维等环节，从而实现装配式公租房全过程、全产业链的信息平台支持，以“信息化”促进“工业化”。主要任务是建立基于 BIM 的建筑系统、结构系统、设备系统、电气系统和内装系统解决方案，如图 9-1 所示。

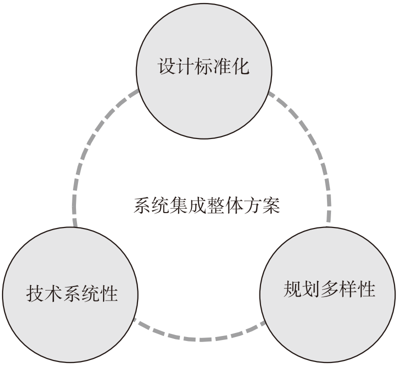


图 9-1　整体解决方案

一、标准化设计解决方案

标准化设计是核心，本设计采用了模块化的标准化设计思路，设定了套型模块的 7 大设计目标：

（1）科学规划，提供日照、通风、采光良好的优质户型。
（2）采用大空间的结构体系，便于公租房的灵活使用。
（3）合理科学地确立结构空间的长宽比，提高空间的使用效率。
（4）套内尽量减少走道或尽量让走道空间多用途使用，减少空间浪费。
（5）合理设计公共空间，提高得房率。
（6）统筹户型设计和工程合理性的矛盾，优化经济性，节约造价，让利于民。
（7）采用产业化建造方式建设，让百姓住上质优、价廉、安全、舒适、便于维护的公租房，真正让百姓得到实惠。

上述目标通过家具模块的标准化、厨卫模块的标准化和套型模块的标准化

来实现。基本做法是三个步骤，首先选用国际通用标准的家具，结合人体工程学及公租房特点，确定标准化家具模块；然后确定结合厨卫模块精细化设计，确定基于部品部件标准化的厨卫标准模块；最后，选择适宜的房间尺度，结合产业化住宅的特点及公租房套型面积要求，形成标准化套型，该套型应该有较为适宜的房间尺寸，既能满足全生命周期适应性使用的要求，又能实现装修一体化，便于安装，如图 9-2 所示。

图 9-2　标准化层次关系

（1）家具模块的标准化：根据公租房的需求特点，选用适宜的满足模数协调标准的家具模块，是套型空间尺寸控制的基础，如图 9-3 所示。

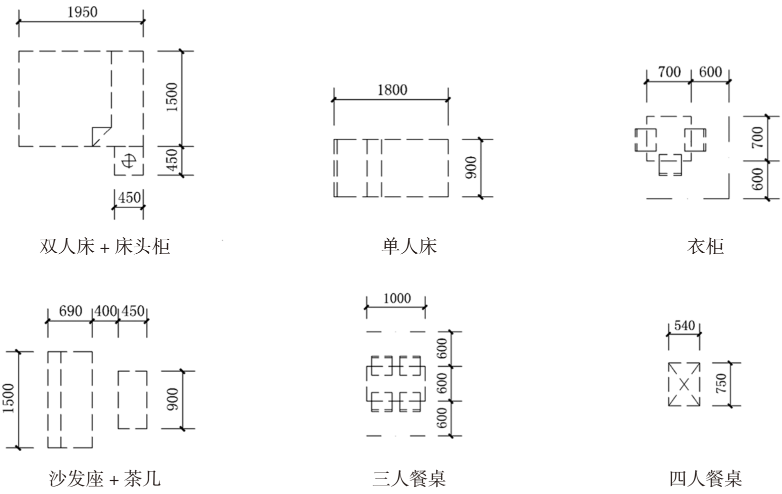


图 9-3　家具模块标准化

（2）厨卫模块的标准化，如图 9-4 所示。

1）参考《住宅厨房及相关设备基本参数》GB/T 11228—2008、《住宅卫生间功能和尺寸系列》GB/T 11977—2008 的模数数列。

2）开敞式电厨房为 2000mm×1600mm，标准厨房为 2700mm×1500mm，装修完成面控制；

3）分离式卫生间分别为 1300mm×1200mm、1500mm×1200mm，标准卫生间为 2000mm×1500mm，装修完成面控制。

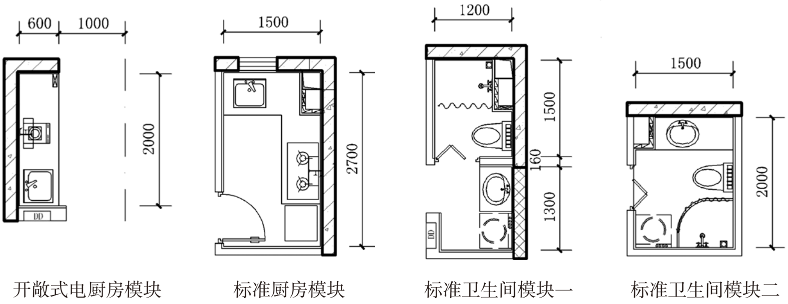


图 9-4　厨卫模块标准化

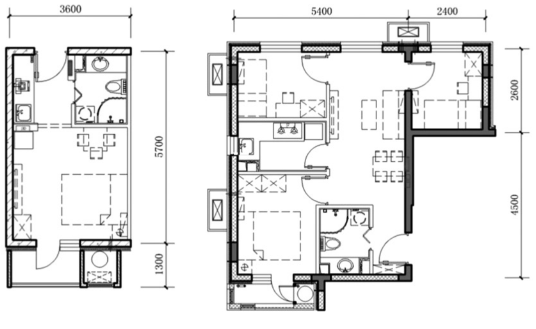
（3）套型模块的标准化，如图 9-5 所示。

面宽采用 36m 与 54m 两种尺寸，进深采用 57m 与 71m 两种尺寸，预制墙板、叠合楼板的模板类型得以大量优化。

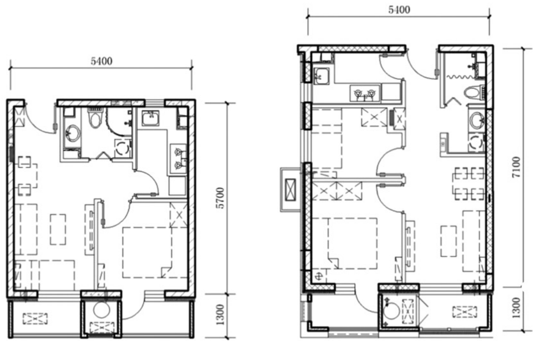
（4）标准化套型模块详解：

1）30m² 套型模块：该模块为厅卧合一的一室户套型，特点是结构空间可变，两户相拼可实现 60m² 两室一厅无障碍套型，如图 9-6 所示。

2）40m² 套型模块：是本次标准化设计的主力户型，结合单元平面解决方案实现南北通透；两个正南向采光的主要居住空间；采光通风良好；明



a）　　　　　　　　b）



c）　　　　　　　　d）

图 9-5　套型模块标准化

a）30 m² 套型模块　b）40 m² 套型模块　c）50 m² 套型模块
d）60 m² 套型模块

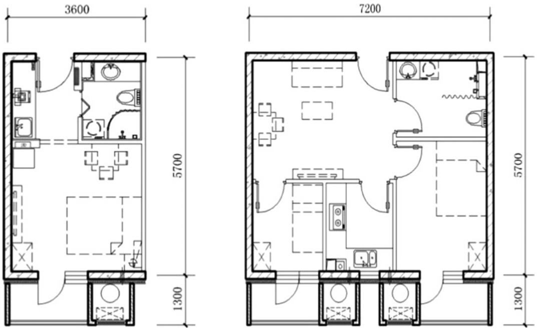


图 9-6　30m² 套型模块平面

厅、明卧、明厨、明卫；特点是 40m² 左右建筑面积能实现一室一厅，并有条件增加一个床位。采用 3M 模数，与 30m² 户型面宽关系：3.6×3=5.4×2，便于模块组合。通过局部调整，用于东南或西南角侧，套型品质更优，如图 9-7 所示。

3）50m² 套型模块：本套型一般要求有两个采光面。特点是 50m² 左右建筑面积能实现两室一厅。两个居住空间朝南，通风良好；明厅、明卧、明厨。50m² 模块比 40m² 进深增加 1.4m，实现面宽标准化。本模块可实现无障碍户型的需求，如图 9-8 所示。

4）60m² 套型模块：本套型为 60m² 两室一厅改善型或 60m² 三室一厅。特点是南北通透，明厅、明卧、明厨。采用标准的 50m² 结构模块，附加次卧模块得以实现，强化了 50m² 标准模块的通用性。采用开放结构空间，户内空间灵活，有较强的适应性，如图 9-9 所示。

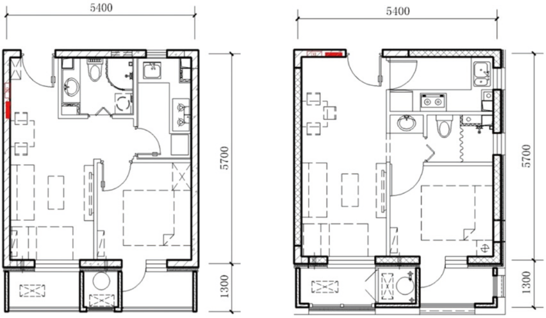


图 9-7　40m² 套型模块平面

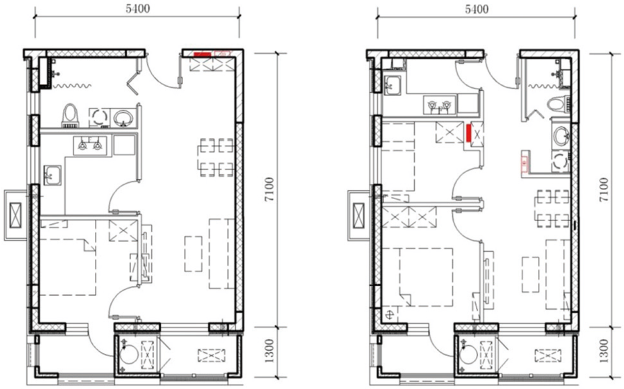


图 9-8　50m² 套型模块平面

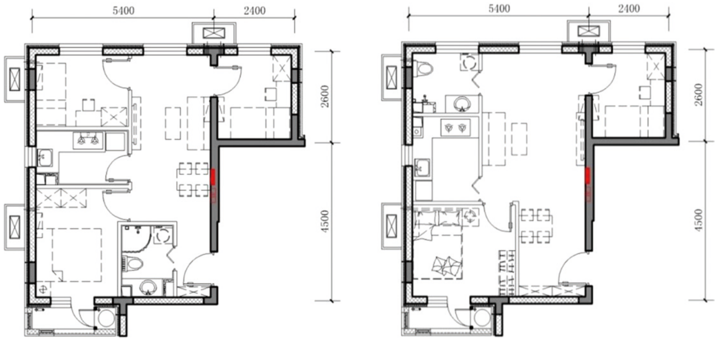


图 9-9　60m² 套型模块平面

以上成果，结合组合需要，适当增加部分非标模块，汇总成标准层套型平面系列如下，如图 9-10 所示。

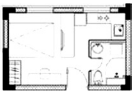
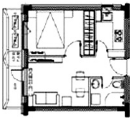
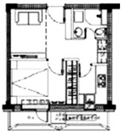
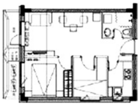
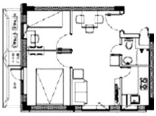
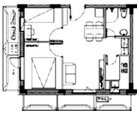
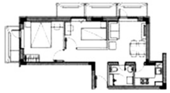
套型	基本型	标准型	变体 1	变体 2	变体 3
单居户型（厅室合一）1 种					
中小户型 2 种					
大户型 5 种					
其他户型 3 种					

图 9-10　套型模块系列

二、规划多样性解决方案

本规划系统要解决的核心问题是适应性和多样性问题，在本课题中是如何使用标准化套型模块设计出多种类型单元平面，能够适应各种套型配比、建筑高度、地形形状等使用、规划需求的问题。

标准化套型模块主要围绕规划条件、套型核心要素、单元组合形式、单元平面等四个方面着手，最终利用标准化套型模块组合成多样性的套型组合。结合规划的不同需求组合出多样的平面形式，如图 9-11~ 图 9-19 所示。

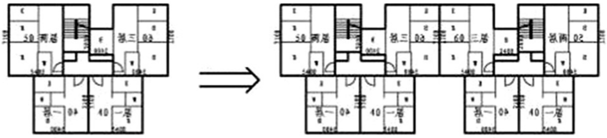


图 9-11　6F 单元组合

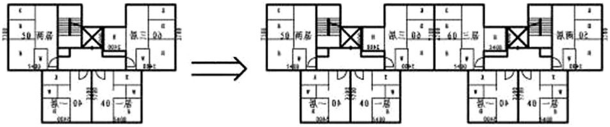


图 9-12　7~11F 单元组合

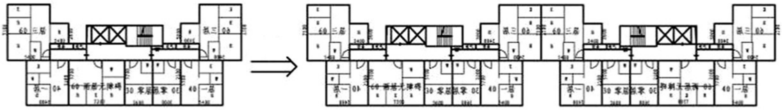


图 9-13　12~18F 单元组合

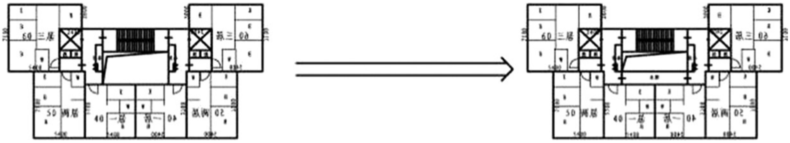


图 9-14　18F 以上单元组合

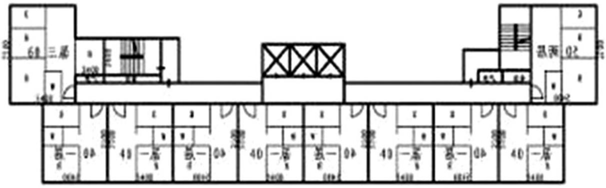


图 9-15　“一”字形单元平面

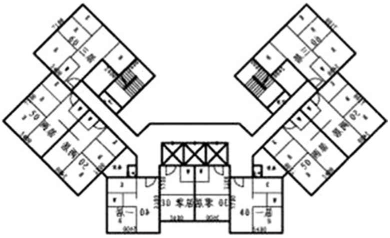


图 9-16　“V”字形单元平面

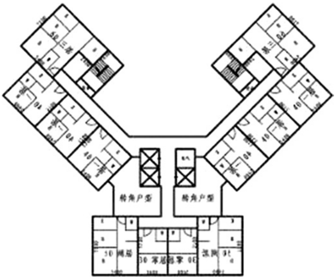


图 9-17　“Y”字形单元平面

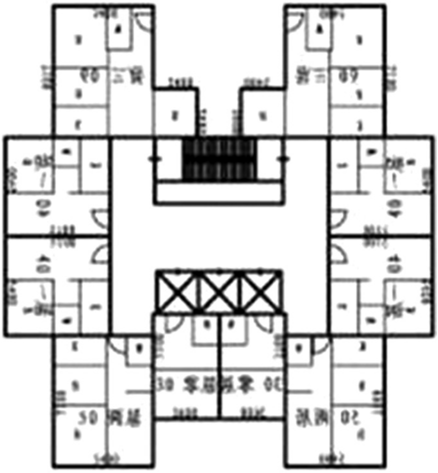


图 9-18 “H”型单元平面

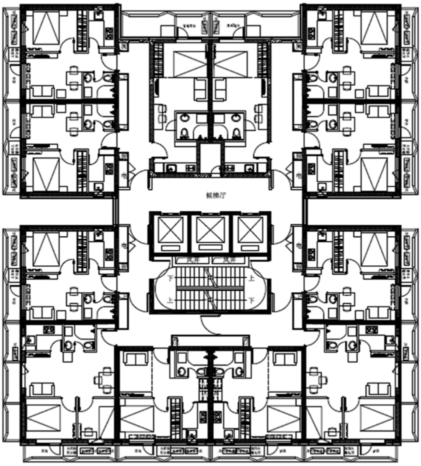
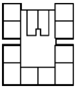
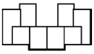
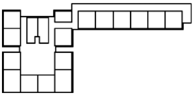
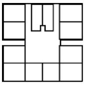
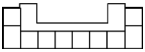
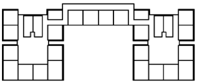
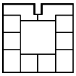
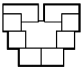


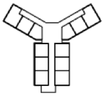
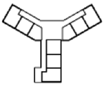
图 9-19 “H”型单元平面

为了适应北京市较高容积率的平面组合形式，我们有选择性地提炼 2.5~3.0 容积率组合楼栋平面，见表 9-1。

表 9-1 标准模块楼栋组合系列

塔楼			板楼			塔连板		
编号	户型组合	简图	编号	户型组合	简图	编号	户型组合	简图
塔01	A+B+D			A+B+C			A+B+D	
塔02	A+B+D			A+B			A+B+D	
塔03	A+B+C							
塔04	A+B+C							

（续）

塔楼			板楼			塔连扳		
编号	户型组合	简图	编号	户型组合	简图	编号	户型组合	简图
塔05	A+B							
塔06	A+B							
注：A 套型为 1 居，B 套型为 2 居，C 套型为 3 居，D 套型为 0 居								

各种组合特点：

（1）单元式双拼组合，如图 9-20 所示。

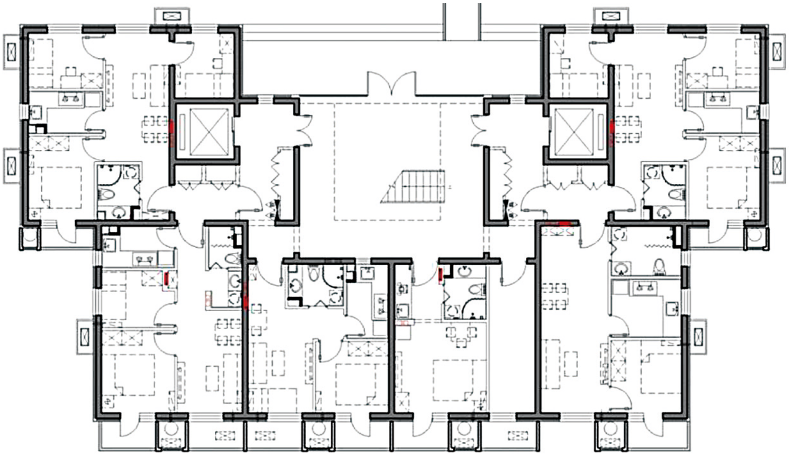


图 9-20　单元式双拼组合平面

中间 2 套 $40m^2$ 套型可调整为 3 套 $30m^2$ 套型。本套型是 2014 年结合市科委课题建成的示范楼展示楼，与常用的单元平面方案比较，具有总面宽小、

全朝南、节地的特点。

（2）塔式 12 户组合一，如图 9-21 所示。

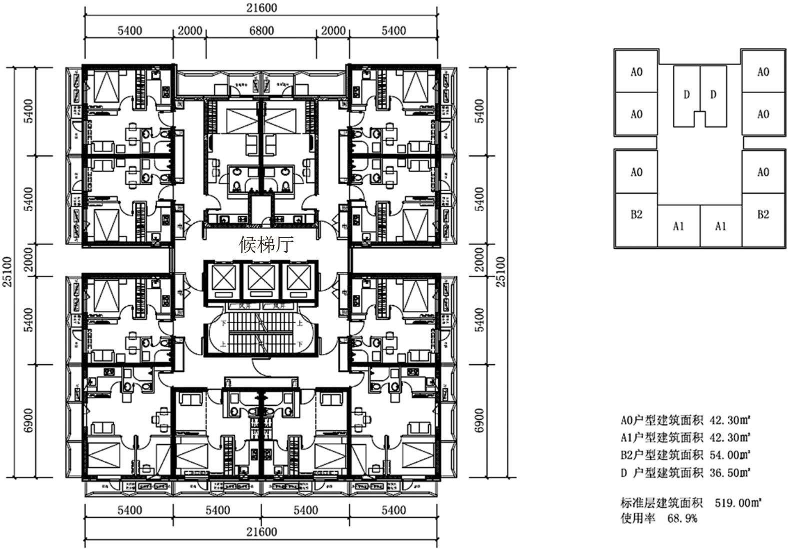
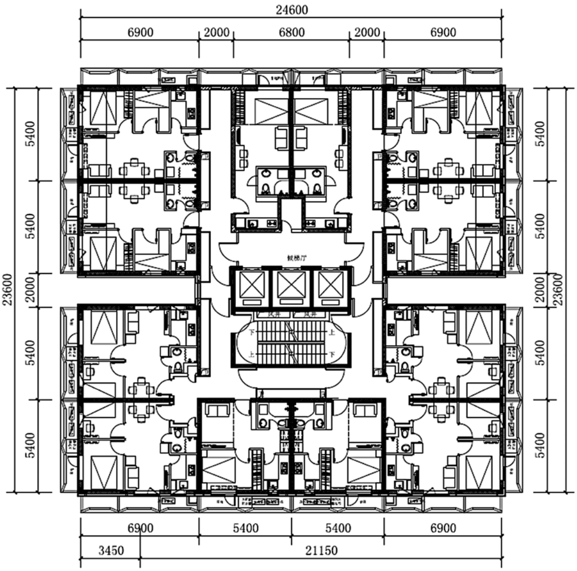


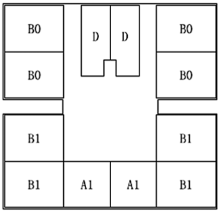
图 9-21　塔式 12 户组合一

由 8 套 40m² 套型、2 套 50m² 套型和 2 套 30m² 套型组合而成。本套型有两套北向无日照宿舍型公租房套型，所有管井均在公共走道布置，便于检修。套内空间适合管线与结构分离，适应性强。平面具有均好性强、标准化程度高，采光好、节地的特点。

（3）塔式 12 户组合二，如图 9-22 所示。

由 8 套 50m² 套型、2 套 40m² 套型和 2 套 30m² 套型组合而成。与组合一的不同之处在于套型模块面积的不同，其他特点同组合一。



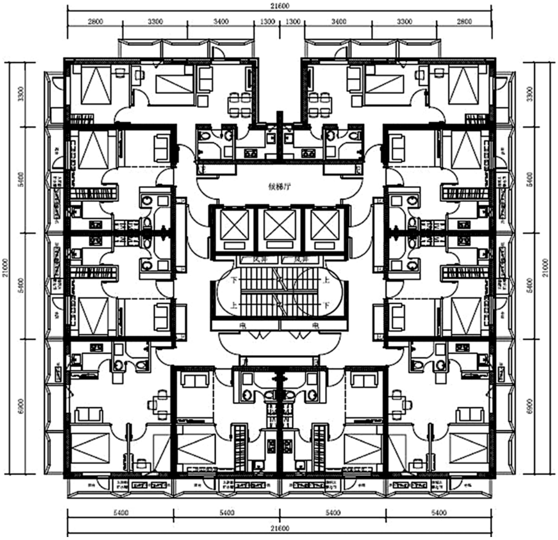


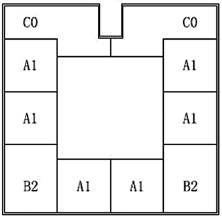
A1户型建筑面积　42.29m²
B0户型建筑面积　50.81m²
B1户型建筑面积　50.81m²
D 户型建筑面积　38.95m²

标准层建筑面积　574.16m²
使用率　68.33%

图 9-22　塔式 12 户组合二

（4）塔式 10 户组合，如图 9-23 所示。





A1户型建筑面积　40.57m²
B2户型建筑面积　52.22m²
C0户型建筑面积　57.82m²

标准层建筑面积　463.54m²
使用率　72.53%

图 9-23　塔式 10 户组合

由 6 套 40m² 套型、2 套 50m² 套型和 2 套 60m² 套型组合而成。本套型取消了北向无日照宿舍型公租房套型，所有管井均在公共走道布置，便于检修。套内空间适合管线与结构分离，适应性强。标准化程度高、采光好、节地性强。

（5）蝶形 8 户组合，如图 9-24 所示。

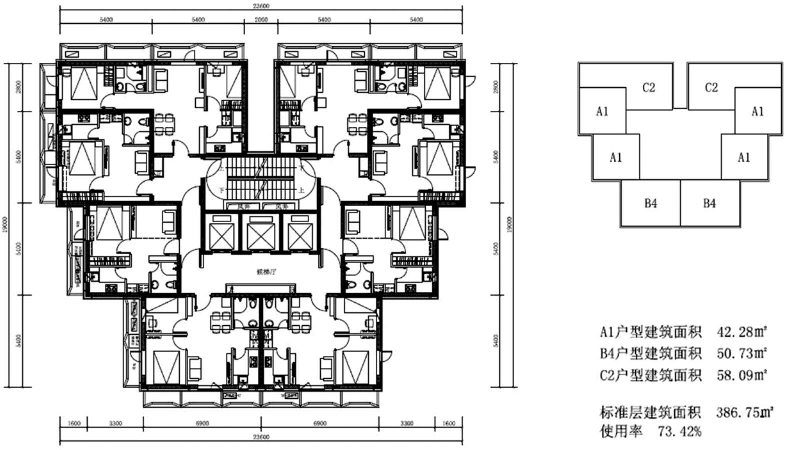


图 9-24 蝶形 8 户组合

由 4 套 40m²、2 套 50m² 和 2 套 60m² 套型组合而成。本组合适应性强。标准化程度高、采光日照更好、节地性略差。

（6）Y 形 12 户组合，如图 9-25 所示。

由 8 套 40m²、2 套 350m² 和 2 套 50m² 套型组合而成。本组合所有管井均在公共走道布置，便于检修。套内空间适合管线与结构分离，适应性强。平面标准化程度高，便于楼栋拼联，有非标套型。

（7）塔式 Y 形 9 户组合，如图 9-26 所示。

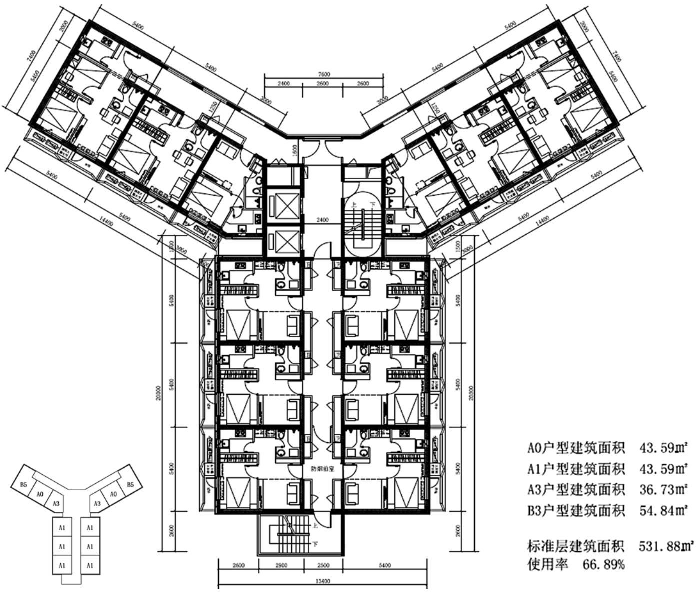


图 9-25　Y 形 12 户组合

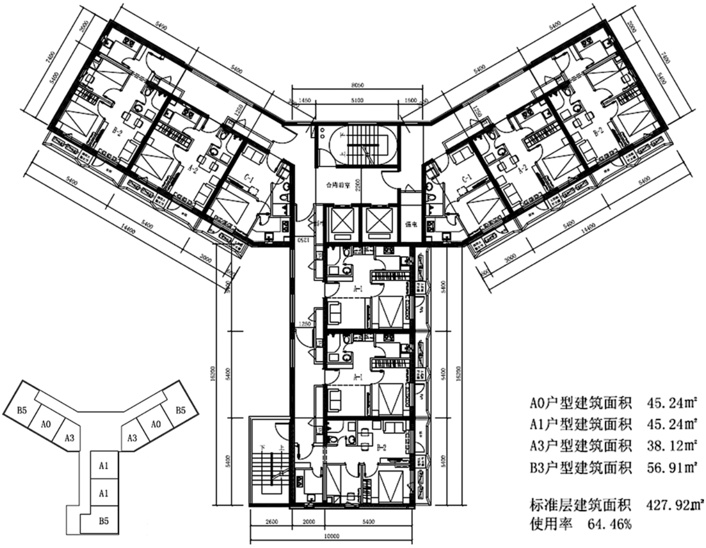


图 9-26　Y 形 9 户组合

由 4 套 $40m^2$、3 套 $50m^2$ 和 2 套 $35m^2$ 套型组合而成。本组合所有管井均在公共走道布置，便于检修。套内空间适合管线与结构分离，适应性强。平面标准化程度高，便于楼栋拼联，有非标套型，公摊面积较大是其缺点。

（8）单元式双核 6 户组合，如图 9-27 所示。

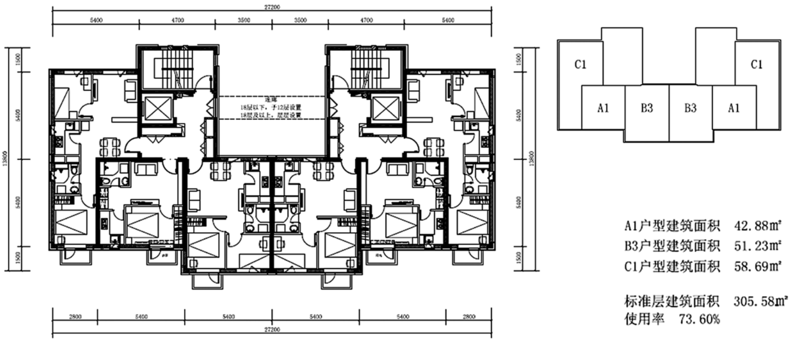


图 9-27　单元式双核 6 户组合

由 2 套 $40m^2$、2 套 $50m^2$ 和 2 套 $60m^2$ 套型组合而成。本套型是 2014 年结合市科委课题建成的示范楼展示楼组合的升级版。除了具有总面宽小、全朝南、节地性强的特点之外，还有户户朝南，自遮挡小，便于规划布局的特点。

（9）外廊式双核 10 户组合，如图 9-28 所示。

由 8 套 $40m^2$、2 套 $50m^2$ 套型组合而成。本组合所有管井均在公共走道布置，便于检修。套内空间适合管线与结构分离，适应性强。平面标准化程度高，南向套型较多。公摊面积较大是其缺点。

（10）塔板结合式组合，如图 9-29、图 9-30 所示。

塔板组合便于结合规划需求提供丰富的规划空间形态，是规划解决方案的方法之一，标准化的模块组合具备各种形态的组合方案，能适应不同规划形态的多种需求。

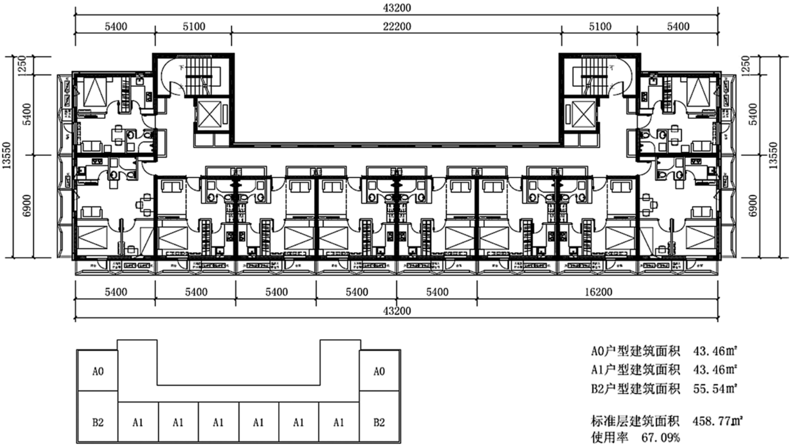


图 9-28　外廊式双核 10 户组合

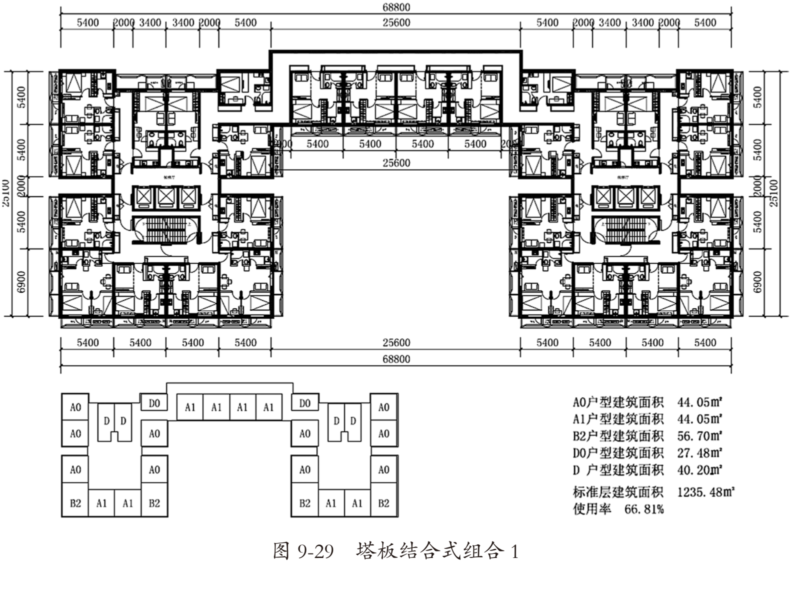


图 9-29　塔板结合式组合 1

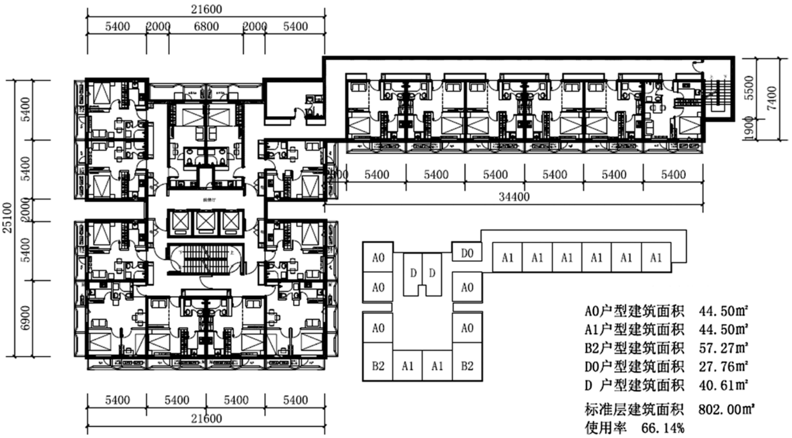


图 9-30 塔板结合式组合 2

组合多样性套型模块及其组合设计在实际规划中的应用：

本组合模式及系统集成设计方法在规划设计中有较强的适应性，标准化的模块，不同的组合形成了不同的规划设计方案。

（1）北京百子湾公租房规划设计，如图 9-31~ 图 9-36 所示。

（2）北京台湖公租房规划设计，如图 9-37、图 9-38 所示。

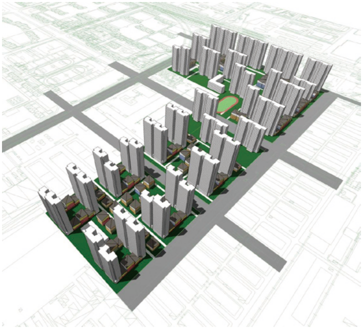


图 9-31 规划方案 1

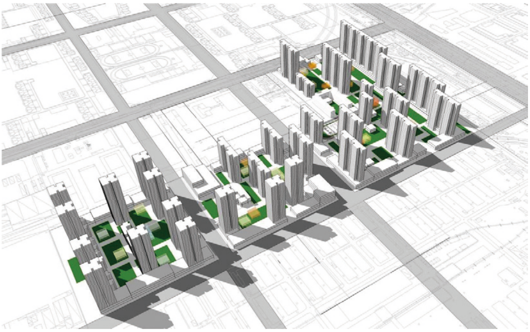


图 9-32 规划方案 2

图 9-33　规划方案 3

图 9-34　规划方案 4

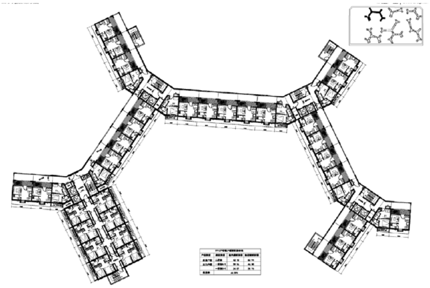


图 9-35　规划方案 5(实施方案,与 MAD 合作)

图 9-36　规划方案 5 空间组合关系

图 9-37　规划方案 1

图 9-38　规划方案 2

三、立面系统多样性解决方案

根据朱小地先生的“墙层”理论，我们将装配式公租房的建筑外墙看作由若干个“层”组成的，立面系统是“层组”的多维集合，每个预制的墙已经被赋予了特有的材料属性，可以利用这种材料之间的关系，通过层次，通过自己独立的比例和关系来表达建筑。在公租房立面系统设计中，通过分析各个墙层的关系，按照比例变化，墙层之间通过编辑的过程，形成一定的秩序关系。因此墙层不是简单、被动地呈现在立面中，而是一个用语言学实现编辑的过程。这个编辑过程形成的是秩序的关系，预期的次序一旦形成，墙层的划分也就确定下来，这时构建获得了相应的形式，逐步形成理性基础上的形式美学体系。建筑材料在墙层编辑过程中的作用至关重要，建筑材料与构建的特性已经成为设计的开始，并成为形式上表情达意的方法。

“墙层”帮助我们在公租房立面美学体系中形成某种设计的原则，可以通过编排建筑包括的所有墙层，使之成为一个序列或多个序列，这一过程可以称之为编辑，指通过对墙层的编辑使之形成秩序性，见表 9-2。

基于上述逻辑，我们通过编辑“墙层”，保持预制装配的外墙标准模块的几何尺寸不变，以此对接装配式公租房的标准套型的规模化工厂生产需求，但对其外墙材料选择划分提供了装饰混凝土、清水混凝土、涂料、面砖反打、不同色彩的“层”选择；预制阳台则通过进深、面宽、空间位置等提供多种“层”定位及选择，预制的外墙功能构件及部品比较易于工厂的个性化制作，因此也将其作为“墙层”最个性化的部件，建筑师完全可以进行个性化的创作。通过“墙层”我们可以“编辑”出多样化的立面形式。突破装配式建筑“千篇一律”的传统公众意象，适应城市对立面形式的

表 9-2　基于系统集成的装配式公租房技术配置表

项目配置编号	配置 1	配置 2	配置 3	配置 4	配置 5
装饰保温承重一体化外墙	★	★	★	★	★
预制内墙			★	★	★
叠合楼板		★	★	★	★
预制女儿墙	★	★	★	★	★
预制楼梯	★	★	★	★	★
叠合阳台		★	★	★	★
预制空调板	★	★	★	★	★
预制外墙挂板		★	★	★	★
装饰混凝土			★	★	★
模数协调	★	★	★	★	★
预制率（预制构件混凝土用量 / 混凝土总用量）	15%	30%	50%	50%	60%
整体外墙装配			★	★	★
无外架施工			★	★	★
太阳能生活热水		★	★	★	★
绿色景观场地				★	★
工业化内装	★	★	★	★	★
分离式地板采暖					★
增量成本控制目标	100 元 /m^2	200 元 /m^2	300 元 /m^2	400 元 /m^2	600 元 /m^2
绿色星级标准	绿色 1 星	绿色 1 星	绿色 2 星	绿色 2/3 星	绿色 3 星

多样化需求。

通过改变“墙层”的构成，实现标准化基础上的多样化立面形式，如图 9-39~图 9-43 所示。

图 9-39　立面方案 1

图 9-40　立面方案 2

图 9-41　立面方案 3

图 9-42　立面方案 4

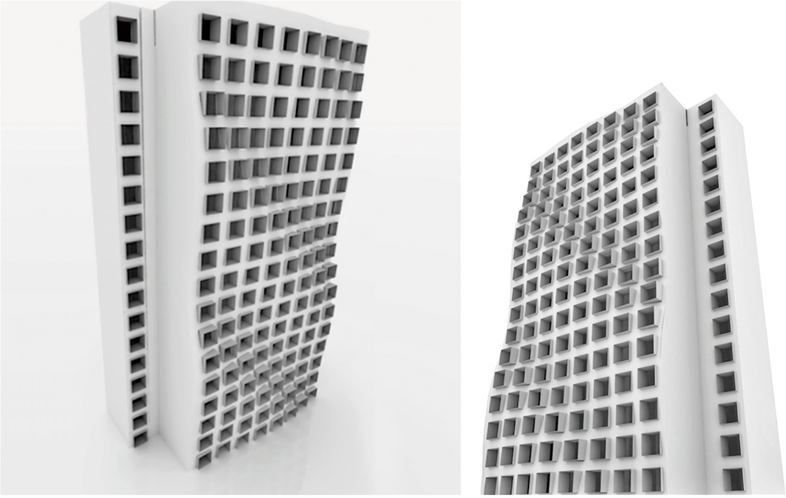


图 9-43　立面方案 5

四、基于 BIM 的系统集成解决方案

1. BIM 对建筑设计系统解决方案的重要意义

建筑信息模型（Building Informationmodeling，简称 BIM）是以三维数字技术为基础，集成了建筑工程项目各种相关信息的工程数据模型。BIM 是对建筑物理和功能特性的数字式表达，从建筑物诞生开始，为建筑物整个生命周期提供可信赖的信息共享的知识资源，为土木建筑建造过程中的不同参与者（比如建筑师、结构师、建造师等）之间提供相互协作，方便地对数据信息更新或修改。其技术及其理念中，系统化控制已见端倪。

BIM 以三维实体模型为载体，对建筑单元的几何属性及非几何属性（如材料、造价、设备信息等）等各种真实属性通过参数的形式进行模拟，整合在一个共享模型中。BIM 不仅提高了设计工作效率，而且能够解决普通图

纸信息的错、漏、缺等问题。能够贯穿建筑的设计、建造、运营和管理等全寿命周期，对建筑的认识更具整体性和系统性，同时有利于设计分工协作，为提升建筑产品的整体品质提供保证。这些特征对建筑设计系统解决方案具有重要意义，如图 9-44 所示。

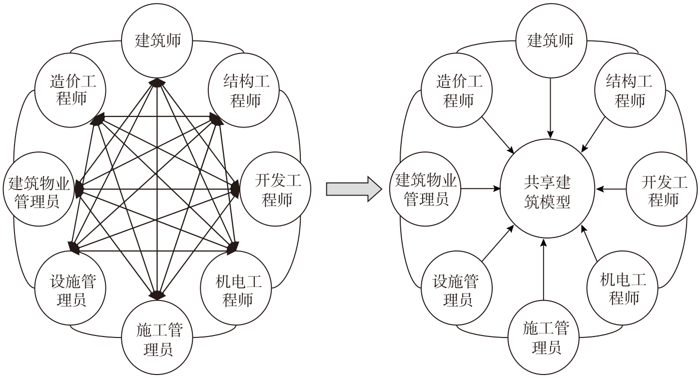


图 9-44　传统设计工作关系与 BIM 支持下设计工作关系对比

2. 装配式公租房 BIM 系统集成框架及实施路径

装配式建筑的关键在“集成”，BIM 信息化技术在装配式公租房中的应用，需要统筹考虑设计、制造和安装的各种要求。通过系统性的设计集成和接口标准统一，生产、施工的 BIM 数字化、信息化协同及管理等，解决 “错漏碰缺”等问题。BIM 设计与生产可以使设计、生产、安装形成全产业链的高效生产方式，最终通过 BIM 系统协调设计、制造和安装之间的关系，使生产具有连续性，建筑构件标准化、专门化，生产过程集成化，工程施工组织化，从而实现住宅生产组织的一体化。本整体方案在 BIM 构件库建立、可视化设计、基于 BIM 的结构系统解决方案、基于 BIM 的设备系统解决方案、基于 BIM 的电气系统解决方案、基于 BIM 的内装系统解决方案和 BIM 系统集成等方面做了一些有益的探索。

（1）BIM 构件库的建立：将数据库信息导入与构件项目文件相对应的族文件，利用专用工作站对装配式住宅的建筑构件及内装部品进行建模，建模入库的信息涵盖所有的技术要素，如图 9-45 所示。

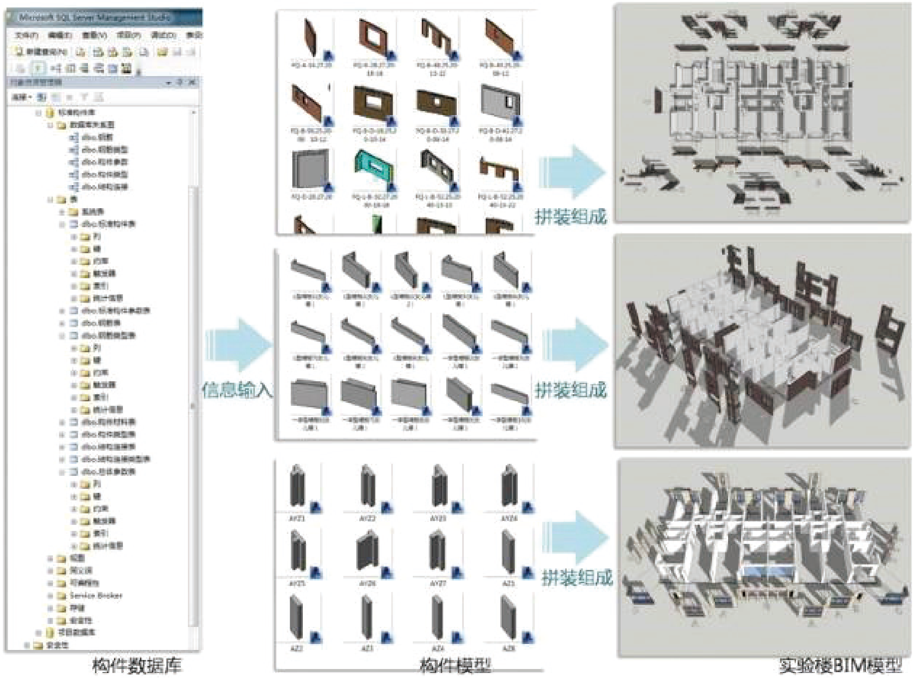


图 9-45　BIM 构件库

（2）可视化设计：不仅可以实时在三维环境中进行设计，即时提供建筑外观的效果和内装效果。而且 BIM 表达的预制构件的构造组成部分，也可清楚地进行三维表达。构件自身的物理属性也可生成可视化的数据明细表，如图 9-46、图 9-47 所示。

（3）基于 BIM 的结构系统解决方案：BIM 模型可以提供三维和二维的深

化设计图纸，便于装配式结构预制构件及连接节点的设计及优化。可以进行碰撞检测，解决构件内部配筋及管线间的碰撞问题，BIM 模型真实反映了预制楼板构件的几何尺寸和物理信息，利于结构设计思想的准确传递，如图 9-48~ 图 9-51 所示。

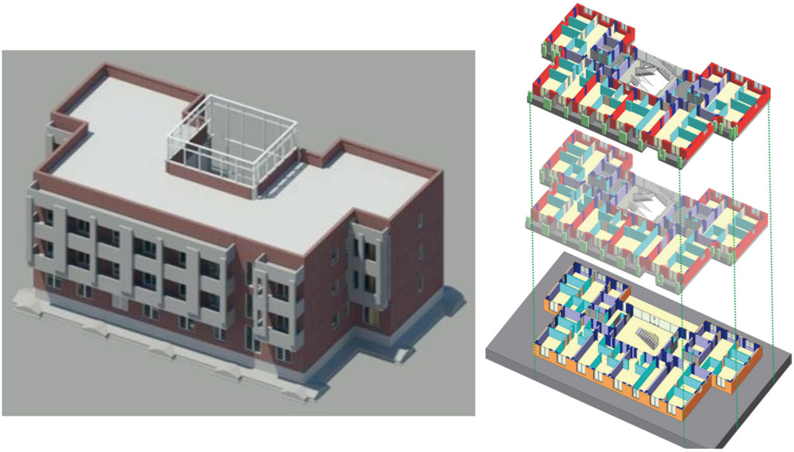


图 9-46　可视化 BIM 模型

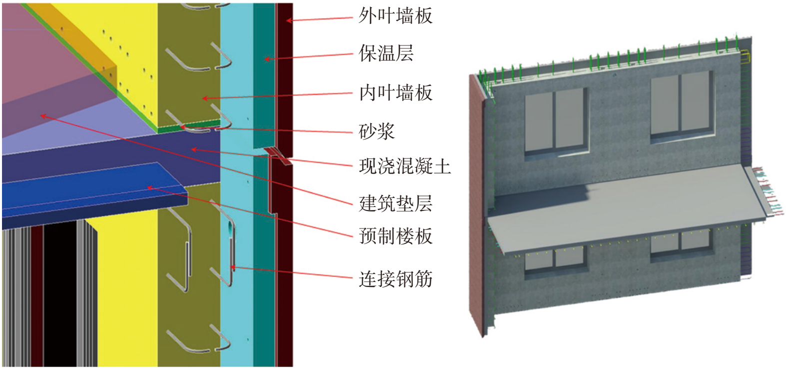


图 9-47　构件及节点的可视化

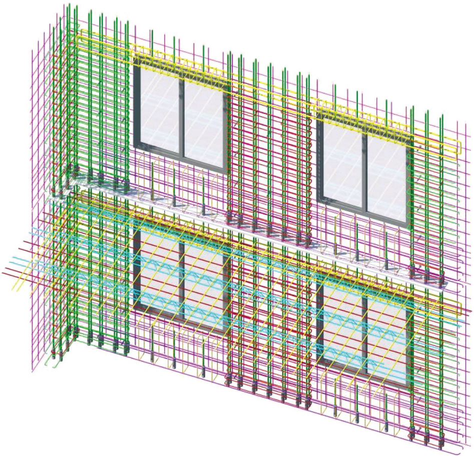


图 9-48　钢筋模拟拼装

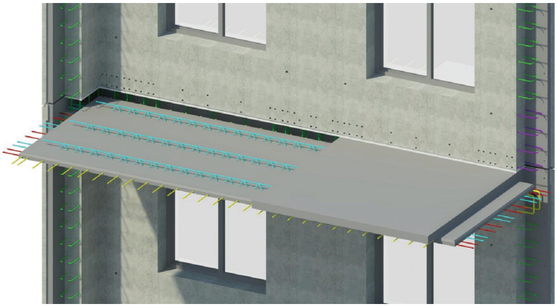


图 9-49　构件模拟拼装

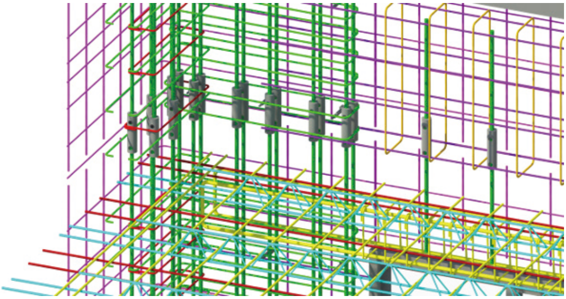


图 9-50　模拟拼装连接节点

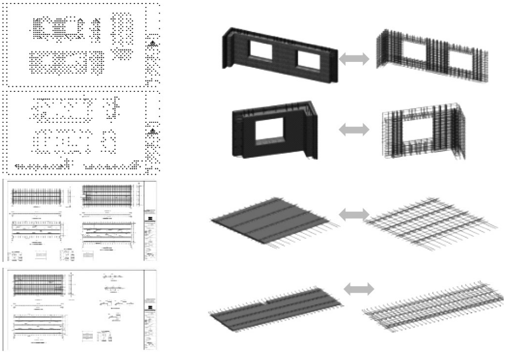


图 9-51　可视化构件模型

（4）基于 BIM 的设备系统解决方案，如图 9-52~ 图 9-54 所示。

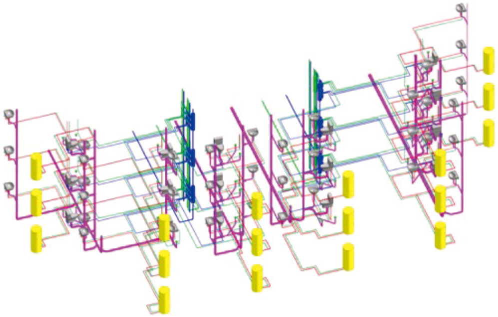


图 9-52　给排水专业模型

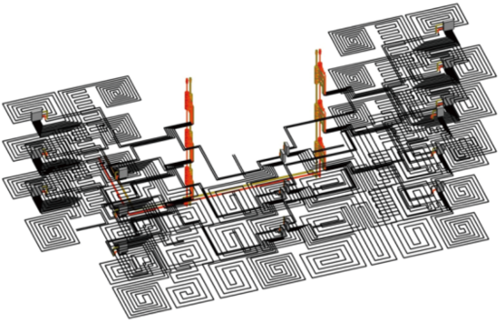


图 9-53　暖通专业模型

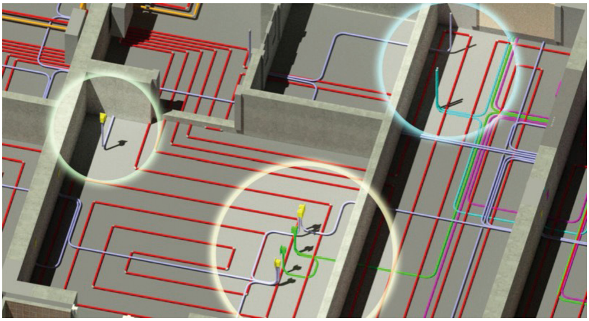


图 9-54　电气专业模型 1

（5）基于 BIM 的电气系统解决方案，如图 9-55、图 9-56 所示。

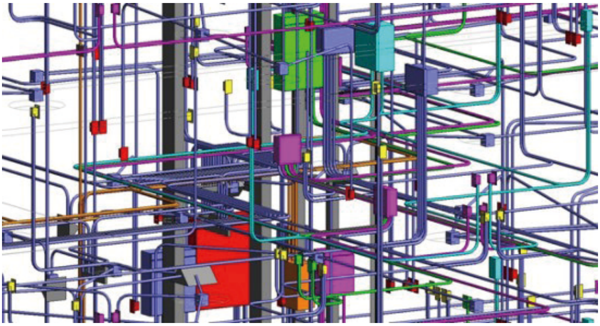


图 9-55　电气专业模型 2

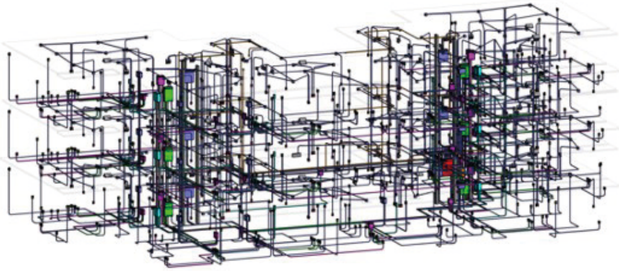


图 9-56　电气专业模型 3

（6）基于BIM的内装系统解决方案：本内装系统解决方案突出一体化思路，结合建设需求，精装修的配置标准奠定了系统解决方案的基础，如图9-57~图9-59所示。

1）整体厨房及关键厨房电器（如灶具、油烟机等）统一配置。

2）整体卫生间及卫浴设备的统一配置。

3）家庭收纳系统的统一配置。

4）固定家具工厂制作，现场安装，提升品质并减少现场作业和污染。

5）地板和门等大宗精装部品的统一配置和装配化施工。

6）配合精装的水电设备点位一次预留到位，结构专业做好预留设计。

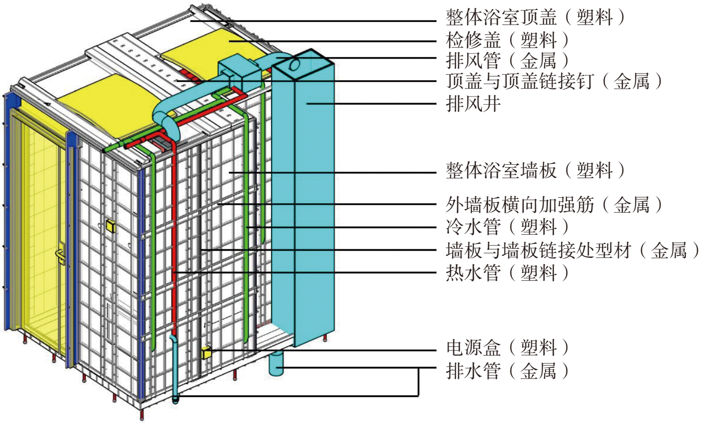


图9-57　集成卫浴BIM模型

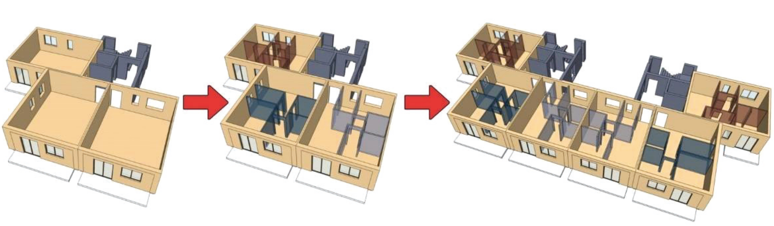


图9-58　结构大空间＋填充体隔墙＋集成厨房卫生间

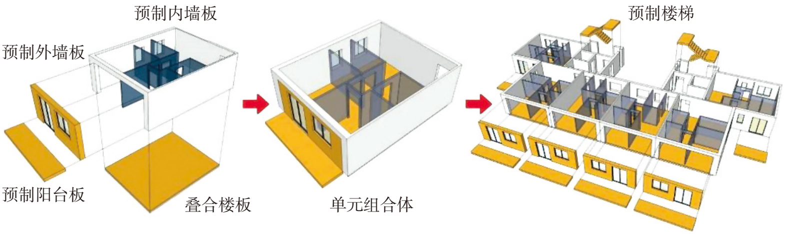
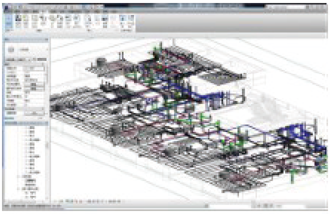


图 9-59　装配式构件组合示意外墙 + 阳台 + 楼板 + 楼梯

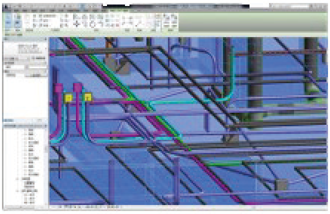
（7）BIM 系统集成应用：以 BIM 构件库为基础，将具有参数信息的构件模型按照近似于实际工程装配化施工的方式拼装组成 BIM 模型，侧重于工程的实际应用中，实现设计 BIM 与生产、施工过程中 BIM 信息化的协同和对接。系统集成的 BIM 模型可以提供三维模拟设计和决策，大大提高了效率。集成应用包括碰撞检查、经济算量及造价优化、生产施工模拟、运维阶段应用等。本整体方案都做了初步的探索和尝试。

1）碰撞检查。碰撞检查包括“配筋碰撞检查”“机电预埋点位碰撞检查”“墙内管线碰撞检查”等，还对建筑项目进行整体管线综合和碰撞检查，如图 9-60、图 9-61 所示。

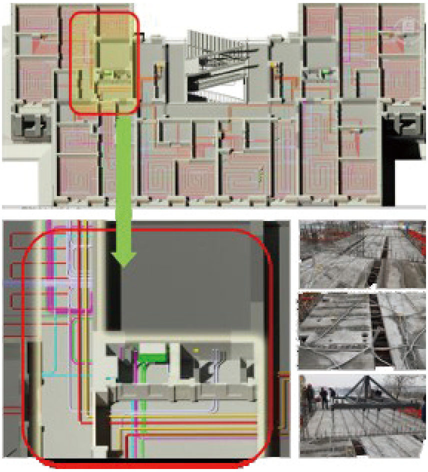
图 9-60　结构碰撞检查



REVIT 模型标准层管线综合



REVIT 模型管线综合局部



管线综合局部　　施工现场

图 9-61　Navisworks 进行管线综合碰撞检查

2）经济算量及造价优化。对于工厂生产的标准构件，将建立标准构件数据库，同时将算量属性纳入标准构件属性，对于不同项目采用的标准构件可以快速得到算量结果。对于现场施工部分的工程量计量，采用软件的明细表功能进行算量研究，采用 BIM 模型作为算量参数的源头。再利用明细表功能，简洁高效地统计装配式预制构件需要的各种信息，通过数字化技术提取构件信息并建立标准构件数据库，如图 9-62 所示。

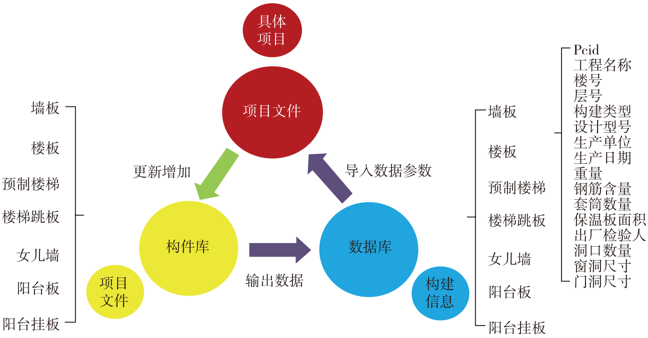


图 9-62　基于 Revit 模型的 BIM 信息传递框架

3）生产施工模拟及辅助。在生产加工过程中，BIM 信息化技术可以直观地表达出配筋的三维布筋情况，通过 BIM 模型帮助工人很好地理解设计意图。比如上下墙板连接主要靠外露钢筋与连接套筒完成，因此能清楚地理解设计对连接方式的表达有助于提高工人的生产精确度，并能直接影响施工安装的精确度，如图 9-63 所示。

工业化住宅生产流程　　生产拼装　　构件拆分

图 9-63　三维图纸指导构件生产图 三维图纸对于不同构件配筋交接关系的局部表达

在施工安装过程中，构件的几何定位可以准确地在模型中反映，通过 BIM 模型可以进行施工模拟指导，能对工期进行有效掌握，并对现场生产材料进行有效的分区管理，实现科学生产，减少建筑垃圾。同时，利用 RFID 芯片技术实现生产施工阶段各种数据信息的协同和集成，实现责任可追溯，如图 9-64 所示。

4）运营维护阶段的 BIM 应用。通过 BIM 软件，可以直接查看室内空间面积配比，空间关系变化后，将模型进行修改，明细表会有直接的反馈，便于运维管理对于可变数据的即时掌控。空间关系数据也可由项目数据库导出生成。住宅内部的构件移位，或者对管线进行更新、更改都可以实现及

时准确的在 BIM 模型里得到反馈，有助于为之后的再次修改调整提供指导，也可以为运维人员提供可视化的图纸指导等。

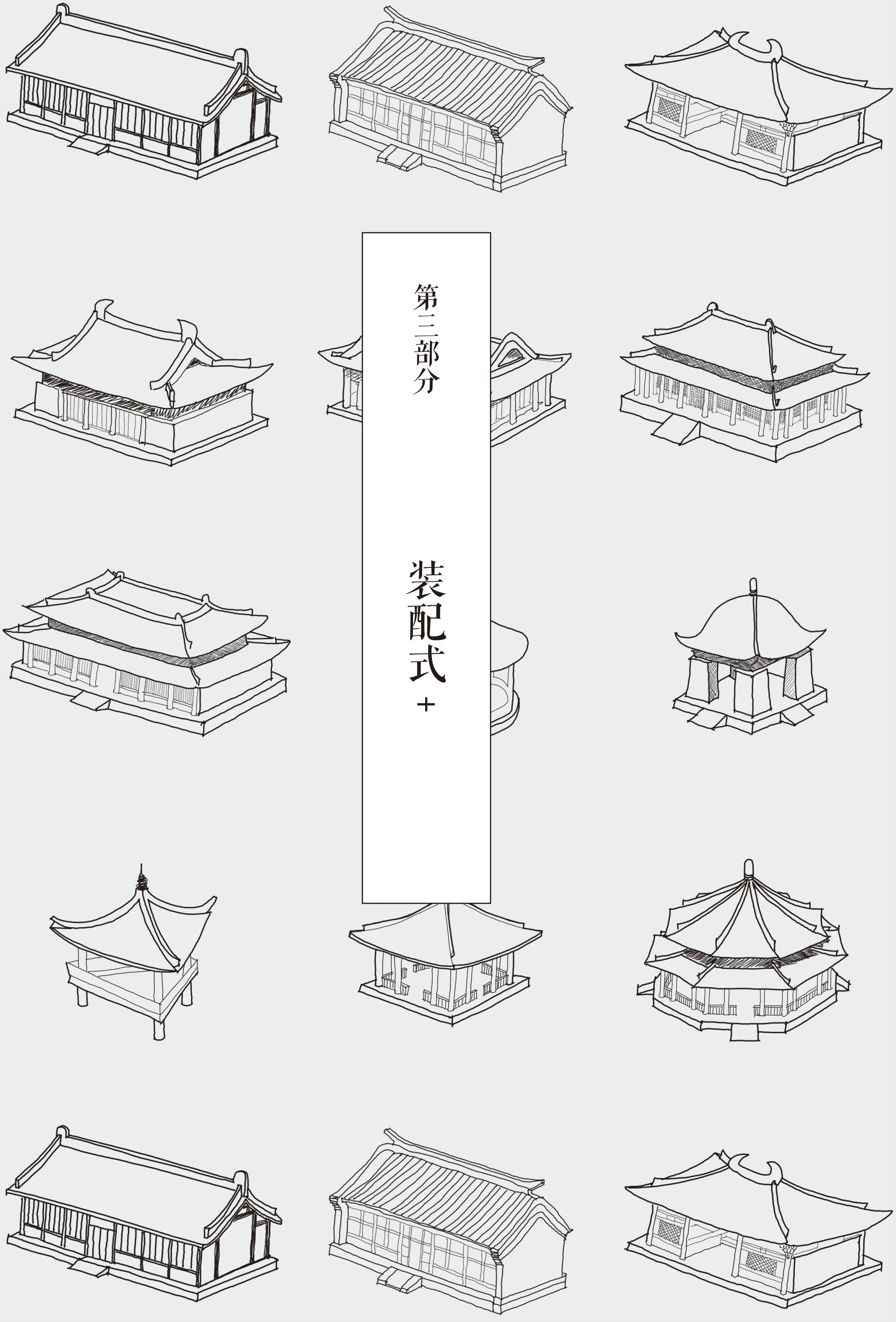
图 9-64　三维图纸对于构件拼装的模拟施工指导

5）BIM 公共服务平台设想。除此之外，在“整体方案”中我们还提出要建设一个装配式公租房的 BIM 信息系统公共服务平台，基本思路是利用 BIM 技术，打造一个开放的住宅产业化全程协同服务平台，将咨询、规划、设计、

建造和管理各个环节全部整合在服务平台上，实现全过程协同工作和建筑全寿命期的管理和服务。实现将投资、设计咨询、供货商、工程总承包商和项目建成后的物业管理商等全产业链在统一的物联网平台集成。通过技术创新和机制创新，建设基于数字技术的信息化、产业化建筑设计服务模式，引领住宅产业化的更大发展。

第三部分

装配式＋



〇 第十讲 装配式+绿色

结合北京中粮万科长阳半岛工业化住宅组团的设计实践，从规划布局、设计概念及产业化技术利用等方面，总结出绿色工业化是住宅产业现代化应该选择的正确道路，提炼出装配式工业化住宅的绿色要素。

一、近几年的装配式工业化住宅技术发展沿革

2007 年接受万科集团的委托开始研发装配式工业化住宅，到目前为止已经陆续建成了多个示范性项目。表 10-1 统计了上述装配式住宅采用的技术及其技术集成的提高和完善进程。

二、绿色工业化是住宅产业现代化应该选择的正确道路

在上述装配式工业化住宅设计中，选择了符合我国国情的“绿色工业化”道路。

表 10-1　北京万科装配式剪力墙住宅技术发展沿革（2007~2012 年）

工程名称	技术运用分类（还有外墙预制化率、整体外墙装配、无外架施工、太阳能生活热水、绿色景观场地、工业化内装、SI 分离、分离式地板采暖）										
	预制外墙	预制内墙	叠合楼板	预制女儿墙	预制楼梯	预制阳台	预制空调板	预制阳台挂板	外墙饰面反打	模数协调	国家标准绿色星级设计标准
榆构万科工业化实验楼	★		★	★	★	★	★		★		
B3、B4 工业化楼	★		★		★	★	★		★		
D1、D8 工业化楼	★		★		★	★	★	★		★	绿色两星
北京市公安局公租房	★		★			★	★			★	
中粮万科长阳半岛工业化住宅组团	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	绿色三星

首先是新型城镇化需要“绿色建筑”，21 世纪过去的十年是中国快速城市化的十年，也是住宅产业迅猛发展的十年。但是作为城镇化建设主要载体的建筑业，大部分还停留在以现浇混凝土施工方式为主的落后粗放阶段，给资源环境带来较大压力。我国目前建筑行业的资源消耗极大，特别是用水量、用钢量、水泥用量和木材用量比例都很大。据统计目前我国每年产生的建筑垃圾约为 3 亿 t，每年混凝土制成量达 20 亿 m^3，配制这些混凝土所需的用水量约有 3 亿多 m^3，再加上混凝土养护用水量，相当于每年 6 亿 t 用水量用于浇筑混凝土。 2010 年我国木材消耗量为 4.32 亿 m^3，其中大部分消耗量用于建筑业。未来的十年，将是“新型城镇化”的十年，“新型城镇化”不能再走高消耗、低产出的老路，要求转变建筑生产方式，推进建筑业的绿色工业化，节约资源，保护环境，建设“美丽中国”。

其次是新型住宅工业化带有典型的“绿色”特征，和当年的“大板”装配式住宅相比，新型装配式住宅不仅通过新技术新材料的运用大大提升了住宅性能和质量，更大的不同在于新型装配式住宅采用了更加高效的“绿色”技术；具有更大的“绿色”效益。和传统的现浇方式相比，新型装配式工业化住宅具备以下优势。其一：可以使住宅建造过程中的资源利用更节约、更合理；以北京万科 B3#、B4# 装配式工业化住宅为例：“与传统方式相比，废钢筋的节约比例为 40.63%，废木材的节约比例为 52.31%；废砖块的节约比例为 55.32%；耗水量减少了 19.34%；由于产业化项目涉及较多的构件吊装，施工耗电量没有显著的降低，为 2.9%。”（见本书第十四讲）其二：提高了结构精度，减少了渗漏、开裂等质量通病，使住宅的性能质量更加优化；以外门窗为例，由于外墙门窗洞口工厂化预制，其误差精度控制在 2mm 以内，保证了门窗的气密性、水密性更好，质量更优。北京万科已竣工的装配式住宅创造了使用 3 年门窗零渗漏投诉的纪录。可见，工业化住宅在提高性能的同时也提高了住宅的“绿色指数”。其三：可以提高劳动生产率，

经济效益、社会效益非常显著。通过建筑构件的工厂化预制，可以形成构件生产上下游的产业链，可以将建筑工地上的“农民工”转变为工厂内的“产业工人”，通过生产关系的转变促进“绿色发展”。

因此，推动绿色住宅工业化，对实现节能减排，保护生态、改善人居、应对气候变化都具有重要意义，是住宅产业现代化的必然趋势和必由途径。“绿色工业化”是可持续发展的要求，也是转变增长方式的要求。正是基于以上认识，在中粮万科长阳半岛 11# 地工业化组团的设计中，选择了“绿色工业化”的技术路线。

三、长阳半岛工业化住宅的绿色设计

图 10-1　长阳半岛小区内景

长阳半岛工业化住宅位于规划长阳半岛新城起步区 11# 地块，由北京中粮万科假日风景房地产开发有限公司开发建设，主要功能为住宅及附属配套人防地下室、汽车库、配套机电用房等。采用装配整体式剪力墙结构形式，建筑类别为中高层住宅。用地面积 46782m^2，总建筑面积约 10 万 m²，如图 10-1 所示。2012 年，项目通过了住房和城乡建设部“绿色三星设计标识”的认证。本工程主要采用了以下绿色设计策略：

（1） 绿色规划。本工程位于房山区长阳镇，地处京西永定河西岸生态敏感区，

依据《房山区长阳镇镇区控制性详细规划》（街区深化方案）及《永定河绿色生态走廊建设规划》和《永定河绿色生态发展带综合规划》实施绿色规划。尤其在交通规划方面，创造与城市轨道交通衔接的步行交通空间。本项目毗邻轨道交通房山线长阳站，依托轨道交通给居民提供便捷的公共交通，规划利用项目的交通优势，选择用地东北角为小区的步行入口，入口设置集中商业配套服务设施，将人流引入小区内部组团间南北贯通的集中绿带，形成人车分流并结合集中绿化景观的回家流线，使居住者享受到出地铁后最后一公里安全便捷、舒适优美的步行体验，鼓励居民的步行出行，减少私家车的使用率，如图 10-2 所示。

图 10-2　长阳半岛小区园景

（2）绿色景观和场地规划。园林种植设计采用复层绿化方式，增加乔木种植量，不设计大面积纯草坪，植物品种采用本地适宜植物，绿化采用微喷灌的节水灌溉方式，耐候、节水、安全。地下停车场采用覆土绿化，且覆土绿化与周边实土绿化相连接。同时，室外透水地面面积比达 61.6%，地面停车位采用镂空面积大于 40% 的植草砖，雨水回渗地下，补充涵养地下水资源。这样的规划布局及绿化配置同时也保证了小区内平均热岛强度的均衡分布，如图 10-3 所示。

（3）装配式建筑被动节能设计。本工程采用装配式剪力墙结构，其全部外墙均采用“三明治式”的夹心保温构造做法，此做法由内叶墙板和外叶墙板组成，内叶墙板上下通过套筒灌浆的机械连接接头连接；左右通过预留

图 10-3　长阳半岛小区景观

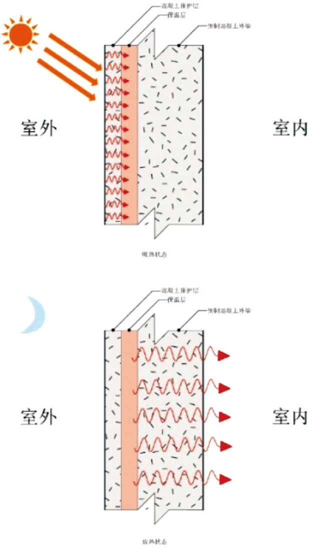


图 10-4　三明治外墙被动节能构造分析图

钢筋形成的现浇节点进行连接；在内外叶墙板之间按节能标准设计相应厚度的保温层，并通过专用的连接件进行连接。这种构造不仅有良好的保温性能，而且具备很好的热惰性，夏季隔绝外部的高温，冬季不仅能够保温，还可以储存热量并缓慢释放。实现冬暖夏凉的“绿色居住”，如图 10-4 所示。

（4）太阳能热水系统与建筑一体化设计。本工程采用“集中集热—分户储水—分户使用”系统来满足可再生能源的利用方案。本工程太阳能集热板集中放置于屋顶上和

南立面上，在屋顶放置储水箱和循环水泵，在每户家里安装一个具有换热功能和辅助电加热功能的承压储热水罐，太阳能集热水通过管路与储热水罐内的换热器，形成一个循环回路，通过换热方式，将每户储热水罐内的水加热。充分利用太阳能，实现资源共享，集中高效。本住宅工程共 923 户住宅，平均每户布置太阳能集热板不小于 4m^2。按每户 120L/ 天热水用水量计，每天共需热水 110760 L。而太阳能热水系统每天共产生 60° C 热水约 66500L，占本工程生活热水使用总量的 60% 以上，如图 10-5 所示。

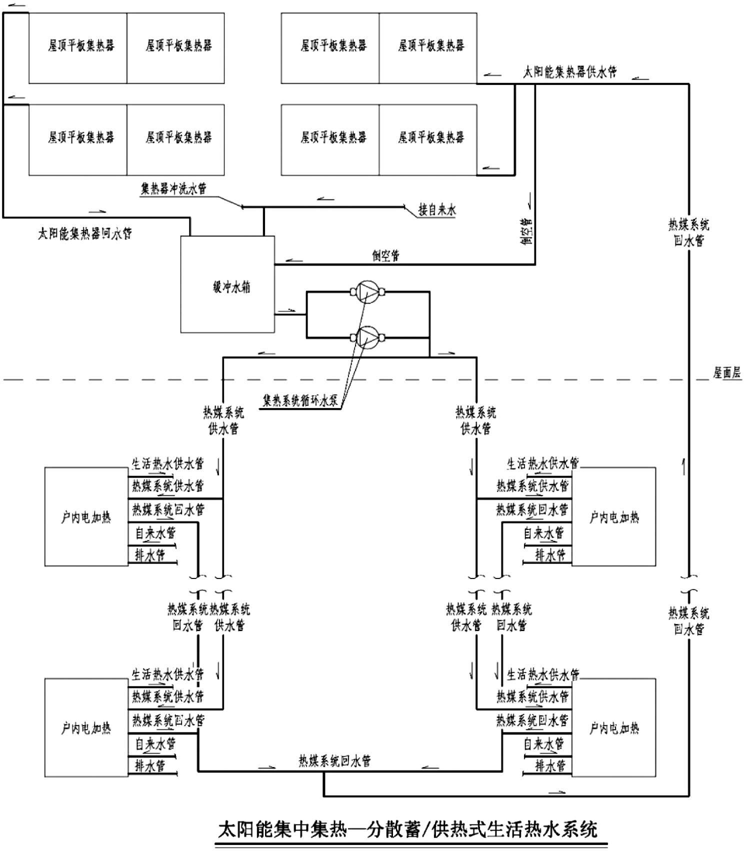


图 10-5　太阳能热水系统分析图

（5）一体化精装中体现装配式技术应用。装配式住宅一体化装修关联到主体结构的工业化和室内装修的工业化，只有主体结构的工业化，或光有室内装修的工业化都不能叫作真正的工业化建造。只有将主体结构、装修部品和设备设施的工业化高度集成，才能真正实现全面提高住宅性能和居住品质的目标。本项目通过整体的模数协调，应用模数协调住宅结构构件及装修部品之间的尺寸关系，减少、优化部件或组合件的尺寸，使设计、制造、安装等环节的配合简单、精确，基本实现土建和装修的“集成”，实现大部分装修部品部件的“工厂化制造”（当然，距离“工业化制造”还存在一定差距）和室内装修的“装配式施工”。推行“绿色装修”。

（6）整体外墙实现装配化，为“绿色施工”创造条件。本工程的亮点之一在于通过设计创新和技术进步，实现了除楼梯外墙之外的整体外墙的预制装配。整体外墙的预制装配使外墙以外的施工工序都在工厂完成，现场无须搭设外脚手架，实现“无外架施工”。有利于节省现场施工材料、减少人工投入、节省工期，实现“绿色施工”（如图 10-6 所示）。

（7）立面设计体现工业化装配式建筑特点，本项目立面设计为简约风格，更多地运用统一的外墙构件，采用瓷砖反打工艺，形成了耐久、安全、精致的外墙排砖效果，结构、功能和形式高度统一，无装饰性构架，如图 10-7 所示。

（8）此外，结合物业管理措施，还采用了垃圾分类收集和万科物业的专用厨余垃圾处理系统； 中水用于冲厕、绿化、景观，传统水源利用率达到 30.4%，节水器具使用率 100%；中水管道采取防止误接、误用、误饮的措施；地下车库设置导光管及小型照明智能控制系统；采用太阳能草坪灯、路灯等绿色环保技术和措施，如图 10-8 所示。

图 10-6　现场无外架施工

图 10-7　长阳半岛小区建成实景

图 10-8 小区环境景观

结语

在中粮万科长阳半岛 11# 地装配式工业化组团的实践中，进一步提高了装配式工业化技术的设计运用，进一步尝试了工业化住宅技术与绿色设计的结合，最终提交了一个符合国家绿色评价 “三星标准”的装配式住宅“绿色工业化”解决方案。

尽管还有很多的不足和欠缺，但这条“绿色工业化”的道路是正确的，应继续前行。

○ 第十一讲　装配式＋被动式超低能耗建筑

被动房是综合采用集成化、系统化的节能技术，不再依靠传统的供热（制冷）方式，充分利用生活散热和可再生能源，实现舒适的建筑环境的新型房屋，如图 11-1 所示。

被动式建筑有很多种类型和做法，其中比较有代表性的是 “中德国际科技合作示范项目——被动式超低能耗建筑”。该体系具有以下几个方面的特点：

（1）极佳的气密性：一般要求房屋气密性 $N_{50} \leq 0.6h$（在正 / 负压 50Pa 下，每小时换气次数不大于 0.6 次）。

（2）极好的保温隔热性：在华北地区一般要求围护系统导热系数小于 0.15W/（m^2・K），外门窗系统导热系数小于 0.8W/（m^2・K）。

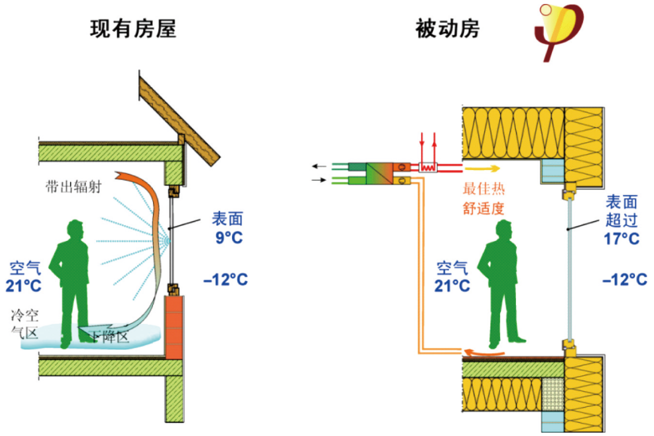


图 11-1　被动房与现有房屋对比图

（3）健康的空气系统：由于密闭性极高，必须设置智能化的空气换气系统，该系统应对室内空气质量实时监测，并适时起动换气。

（4）高效的热回收系统：在空气换气系统中，利用外排室内空气的冷 / 热量与室外新鲜空气进行热交换，以减少冷 / 热损失。

（5）整体无热桥设计：围护系统全面保温隔热，尤其外挑构件、风道、烟道、穿过围护系统的各类管道等，都要采取保温隔热措施。

（6）“自产热”取消传统供暖：被动式建筑一般不用采暖，主要依靠人在建筑中的活动产热保持室温，如餐厨、办公、电器等产生的热量。但应考虑无人使用时的“值班采暖”。

装配式建筑是采用预制的部品部件现场装配而成的建筑。本工程结构系统为钢结构，其节点连接应用螺栓连接节点，楼板采用少支撑的预制叠合楼板工艺，外围护系统采用预制的蒸压加气混凝土条板，并采用了全装修。

装配式 + 被动式超低能耗建筑，是基于被动式建筑节能目标，采用装配式

建造方式，并实现系统最优的建筑系统工程。为此，采取了围绕系统集成目标的全面整合和优化。装配式钢结构被动房系统，由结构系统、围护系统、机电设备系统、内装系统等构成，并逐级分解为若干的子系统，表 11-1 为装配式和被动房特有的不同于常规建筑的部分子系统，如表 11-1 所示。

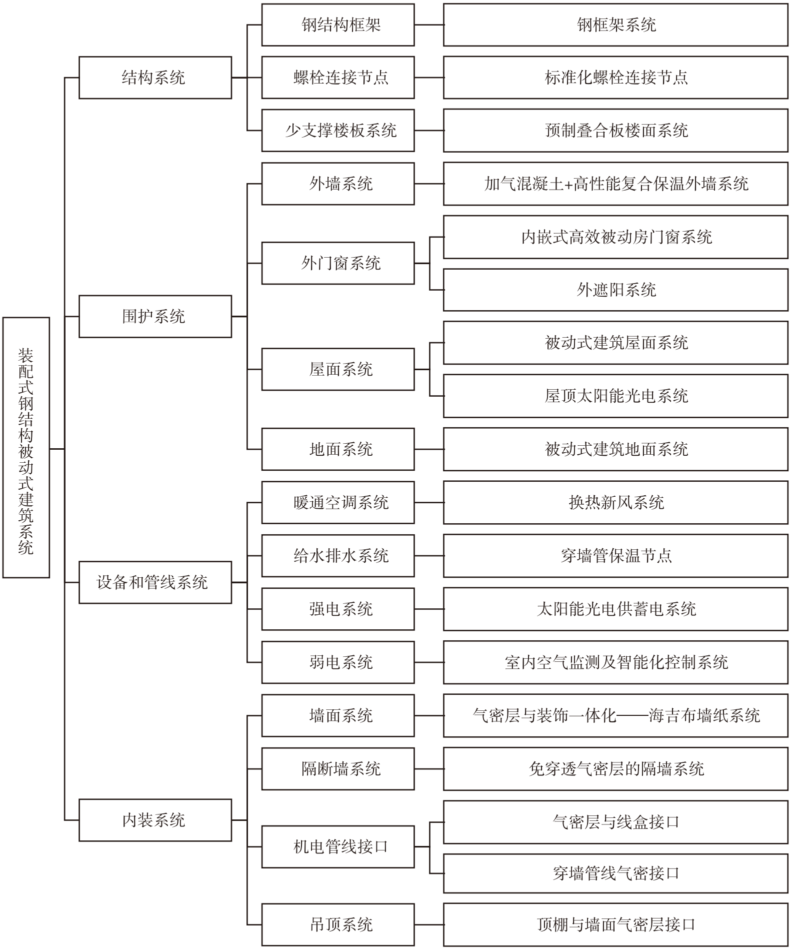


表 11-1　装配式钢结构被动式建筑系统构成

山东建筑大学教学实验综合楼工程位于山东建筑大学新校区内，是国内首个装配式钢结构超低能耗被动式建筑。该项目按照系统集成理念，按各个子系统进行集成设计，并采取了很多系统性优化设计策略，如图 11-2、图 11-3 所示。

图 11-2　山东建筑大学教学实验综合楼工程 1

图 11-3　山东建筑大学教学实验综合楼工程 2

一、钢结构系统

该建筑为钢框架结构，钢框架柱主要采用 H500×500×14×25 焊接 H 型钢，钢框架梁主要采用 H550×200×10×16 焊接 H 型钢，钢框架梁、柱刚接连接节点中腹板采用高强螺栓连接。该系统采用了标准化的螺栓连接节点，钢结构优化为标准化的梁、柱钢构件，在现场用钢梁、钢柱将其组合成框架单元。其连接节点仅为钢框架梁、柱刚接连接节点和钢框架梁、次梁铰接连接节点 2 类。连接节点从原设计 164 种优化为 20 种，如图 11-4~ 图 11-6 所示。

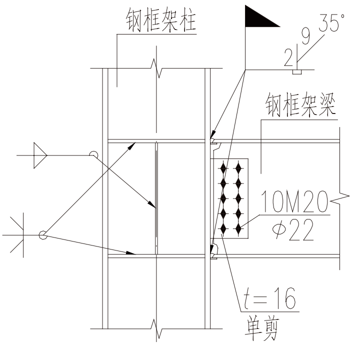


图 11-4　钢框架梁、柱刚接连接节点示意图

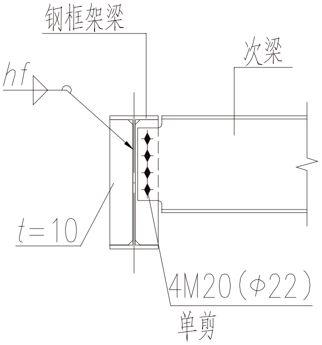


图 11-5　钢框架梁、次梁铰接连接节点示意图

图 11-6　螺栓连接节点展示及现场照片

二、预制叠合板楼面系统

建筑楼盖采用钢筋桁架叠合楼板，预制部分 60mm 厚，上面现浇 70mm 厚钢筋混凝土，与钢梁共同形成钢和混凝土组合楼盖系统。结构楼盖之上为 50mm 建筑垫层，地面做法统一为地砖地面。

三、蒸压加气混凝土高性能复合保温外墙系统

外墙通过多方案比较，选用了性价比较优，节点简单易行的蒸压加气混凝土＋高性能外保温外墙系统。外墙选择 200mm 厚蒸压加气混凝土（Autoclaved Lighweight Concrete，ALC）条板，内嵌安装，导热系数 λ =0.16W/（m·K）；外覆 200mm 厚 SEPS（Graphite Enhanced Polystyrene，石墨聚苯板）保温层，导热系数 λ =0.033W/（m·K），如图 11-7、图 11-8 所示。

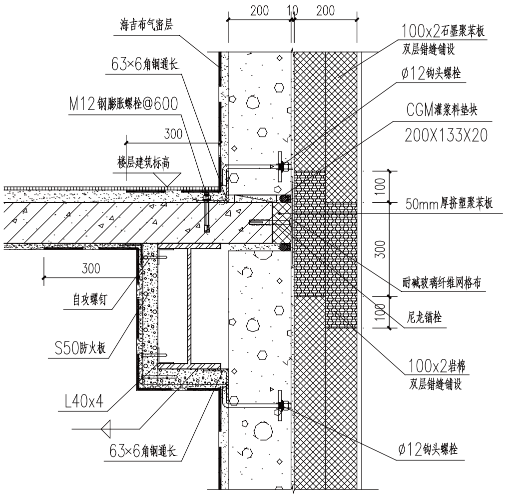


图 11-7　典型外墙大样图

透气性好的水性外墙涂料、外墙专用柔性腻子、5mm 厚抗裂砂浆、200mm 厚 SEPS、专用饰面防水材料、200mm 厚蒸压加气混凝土板、15mm 厚水泥砂浆抹灰层以及海吉布。

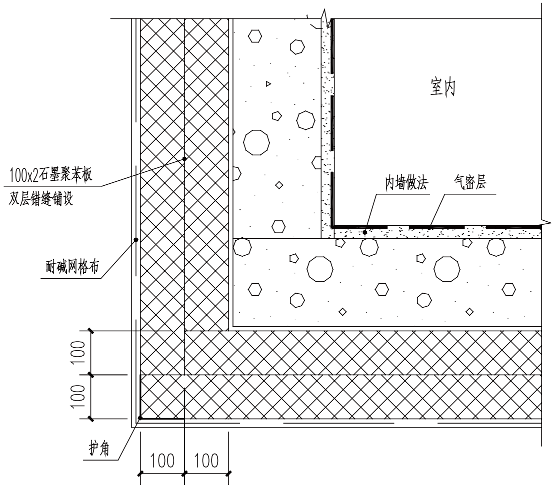


图 11-8　外墙阳角保温节点图

本复合保温外墙系统，外墙的传热系数为 0.14W/（m^2·K），能够保证建筑外墙具有极好的保温隔热性。

围护系统的气密性是被动式建筑的关键指标。中德合作被动式超低能耗项目，要求的气密性指标 $N_{50}\leqslant 0.6$ 次 /h。该指标是在被测试的空间相对室外正压和负压 50MPa 条件下换气次数不大于 0.6 次 /h。本项目设定的气密层基本与外围护系统的内壁结合，采用了围护内装一体化的气密层做法，如图 11-9、图 11-10 所示。

四、内嵌式高效被动房门窗系统

被动式建筑的门窗一般采用外挂式安装节点，此安装方法能确保窗框的最少外露，有利于减少建筑热桥，提高节能效率，在欧洲应用非常普遍。在我国北方已经建成的被动式建筑中已经得到了广泛的应用。但被动式超低

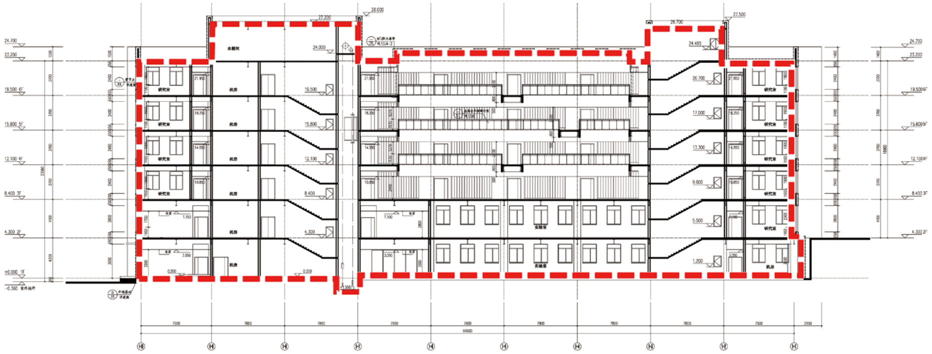


图 11-9　气密层界面示意图

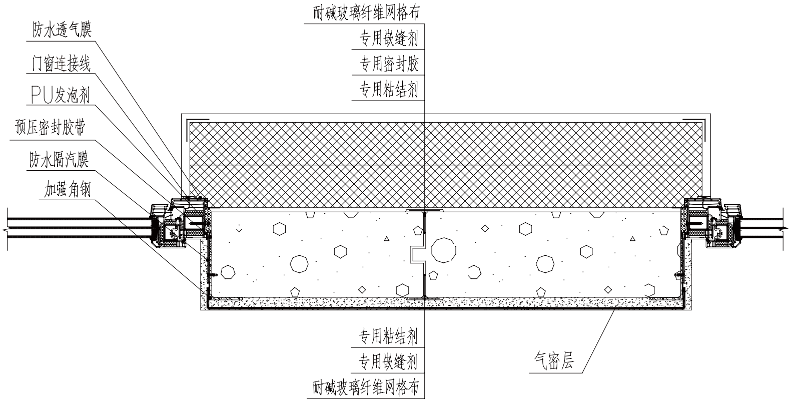


图 11-10　气密层设置示意图

能耗建筑外门窗重量较大，直接安装在加气混凝土条板上容易造成节点的破坏，基于安全和耐久性的考虑，在本项目中将安装方式设计为外窗内嵌式、外门外挂式。保证外保温覆盖住大部分固定窗框，确保外窗与结构墙之间的缝隙被预压密封带密封，并在室内外两侧分别粘贴防水隔气膜及防水透气膜。外窗台板选用耐久性好的镀锌钢板，带滴水线的外挑构造避免了雨水侵蚀造成保温层的破坏，窗台板与窗框之间采用结构性连接，并用密封材料密封，如图 11-11、图 11-12 所示。

五、外遮阳系统

西侧外窗外侧设计了电动百叶遮阳，以降低夏季西晒对室内舒适性的负面影响及制冷负荷。外遮阳的安装节点设计充分考虑了无热桥和气密性设计要求。锚固件为专用塑料锚栓，与基墙连接处采用石棉垫垫层，遮阳盒与墙体间采用预压膨胀密封胶带密封，如图 11-13 所示。

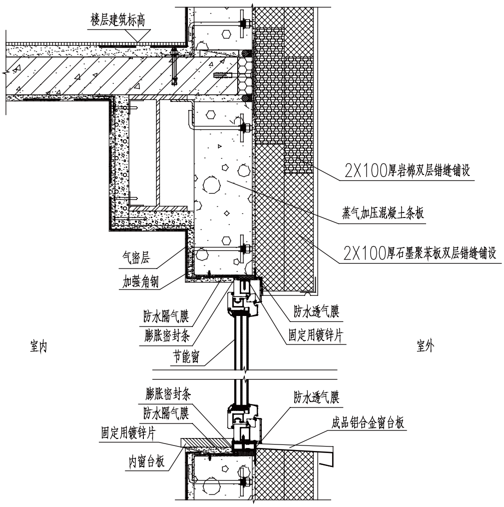


图 11-11　外窗安装构造节点

六、被动式建筑屋面系统

屋面的传热系数为 0.14W/（m^2·K），其结构由外向内依次为：40mm 厚 C20 细石混凝土、3mm 厚 SBS（Styreneic Block Copolymers，苯乙烯－丁二烯嵌段共聚物）改性沥青防水卷材一道、30mm 厚 C20 细石混凝土找平厚、220mm 厚 XPS（Extruded Polystyrene，挤塑聚苯板）、4mm SBS 改性沥青防水卷材厚一道（需隔气）、20mm 水泥砂浆找平层、30mm 厚水泥憎水型珍珠岩找坡、20mm 厚水泥砂浆找平层以及 100mm 厚钢筋混凝土屋面板，如图 11-14、图 11-15 所示。

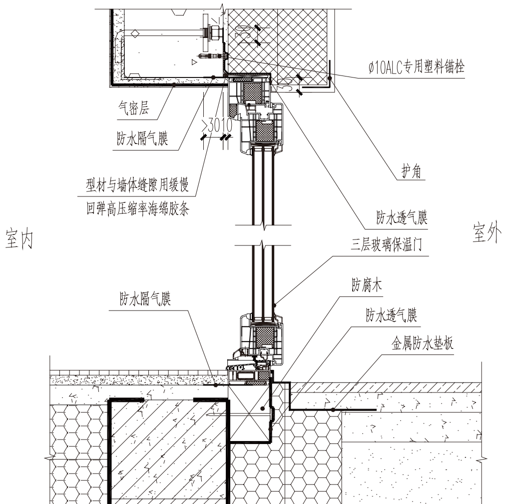


图 11-12　外门安装构造节点

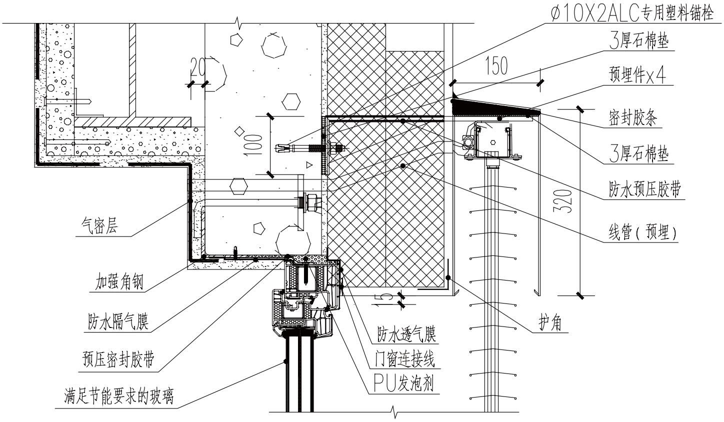


图 11-13 外遮阳安装构造节点

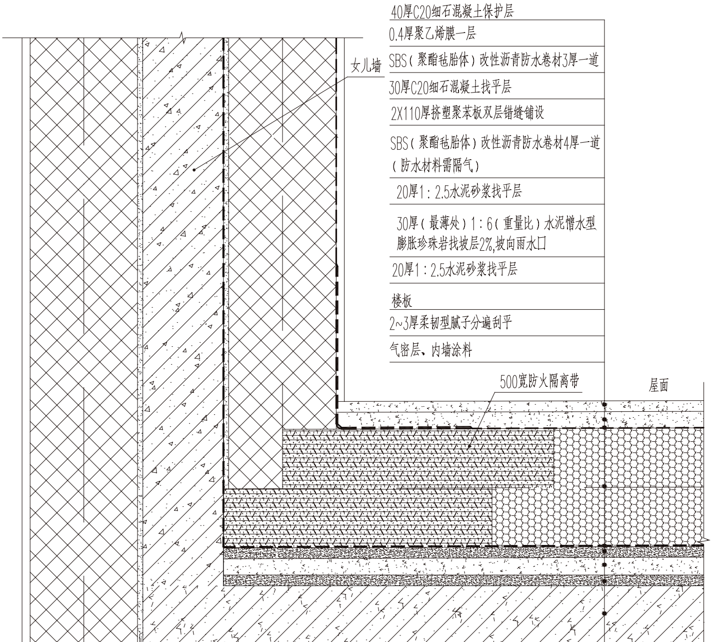


图 11-14 屋面构造节点

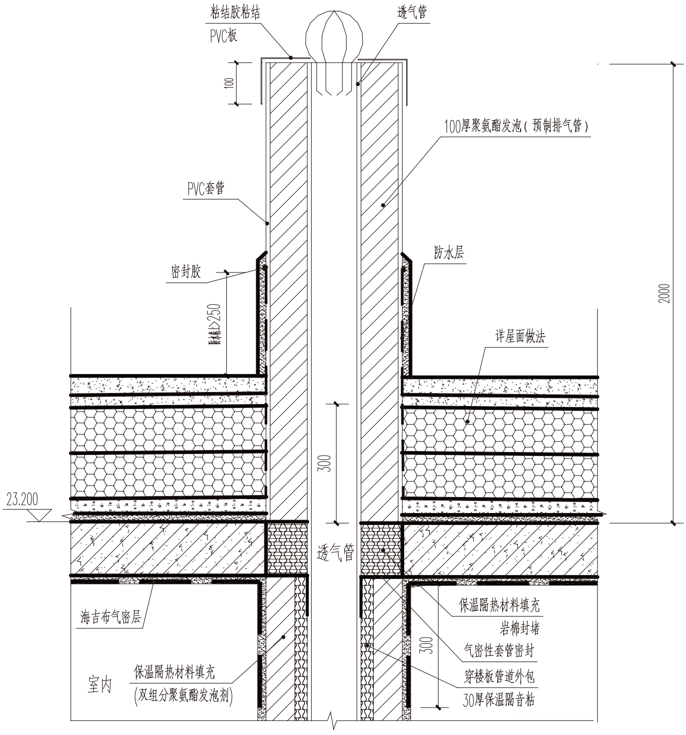


图 11-15　透气管出屋面造节点

透气管出屋面施工亦是被动超低能耗建筑的关键施工环节，直接影响到屋面的保温隔热性能及屋面防水等使用功能。透气管与屋面板洞口间的缝隙采用岩棉环密实填塞，其与岩棉之间的缝隙灌注发泡剂。然后套入外筒，用水泥砂浆将外筒底部与楼板抹灰固定。

七、屋顶太阳能光电系统

本项目由于投资关系，EPC 工程总承包合同中不含屋顶太阳能系统，但考虑到系统优化和节能体系的完整性，预留了太阳能光伏系统的接口，供校

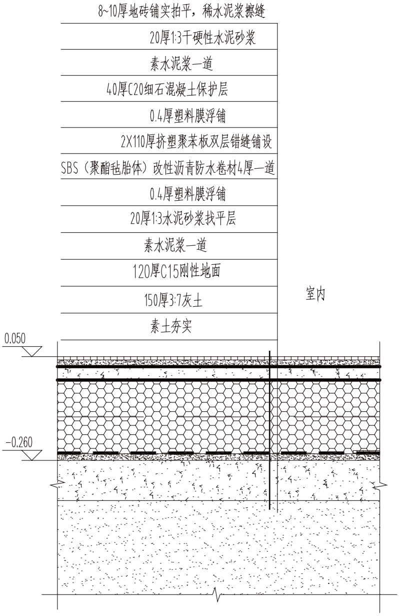


图 11-16　地面构造节点详图

方未来完善功能需要时选用。

八、被动式建筑地面系统

一般工程项目对地面的要求主要是防水防潮，但在被动房系统中，地面的保温、防水、气密性等性能非常重要。本工程在完成基础填土施工后，铺设 C6@250 单层双向钢筋，然后浇筑 120mm 厚的 C25 刚性地面，其上抹素水泥浆一道和 20mm 厚的 1∶3 水泥砂浆找平层，再铺设 4mm 厚的 SBS 改性沥青防水卷材（搭接宽度 > 100mm）。防水卷材施工完成后，在上面浮铺一道 0.4mm 厚的塑料膜，随后双层错缝铺设 2×110mm 厚 XPS，如图 11-16 所示。

九、辅助供冷供热与换热新风系统

本项目辅助供冷、供热采用地源热泵系统，采用一台高温螺杆式地源热泵机组，机组额定工况制冷量 406kW，冷冻水供回水温度 16℃ /21℃；过渡季或负荷较小情况下，可利用土壤余冷直接对末端设备制冷。

该建筑设若干内冷式双冷源新风机组，机组自带板式热回收装置，热回收效率不小于 75%。夏季，用 15~19℃的高温水进行预处理，再由机组自带的压缩机进行深度除湿，负责室内湿度控制；冬季，新风经全热回收装置预热，经汽化式加湿器加湿后，可直接向室内送风。排风在经全热回收后，直接排向室外。

十、室内空气监测及智能化控制系统

本换热新风系统送风口设电动调节阀，与各个监测点位的室内空气监测设备联动，可根据室内 CO_2、PM2.5 和 VOC 等浓度指标，调节控制新风量和新风机组的起动，确保室内空气质量。

十一、系统优化的几个方面

本项目中建科技有限公司负责 EPC 工程总承包，建筑设计由山东建筑大学建筑设计研究院设计，装配式钢结构深化及被动式建筑专项设计由中建建筑工业化设计研究院负责。基于系统优化需要，在以下几个方面做了有益的尝试：

1. 建筑平面优化

原方案是基于传统钢框架结构，一方面框架的轴线确定较为自由，局部存在 1/2M 的轴线定位；另一方面钢框架沿外墙布置，外墙与结构柱、外梁、挑梁之间存在较为复杂的节点关系，如果不加优化，本被动房系统的外墙节点、保温构造和气密层构造等将会因此而变得非常复杂。

系统优化设计一方面统一模数，归并框架轴网尺寸，将标准层钢梁尺寸从原来的 8 种优化为 2 种； 另一方面，结合轴网模数化和标准化，将标准层楼板统一外挑 1m，避免了外墙与结构柱的连接，有利于简化外墙与梁柱的连接节点，便于被动房技术实施，如图 11-17 所示。

2. 管线集成优化

管线的设计是被动房系统达成预定目标的关键，本项目机电管线有针对性

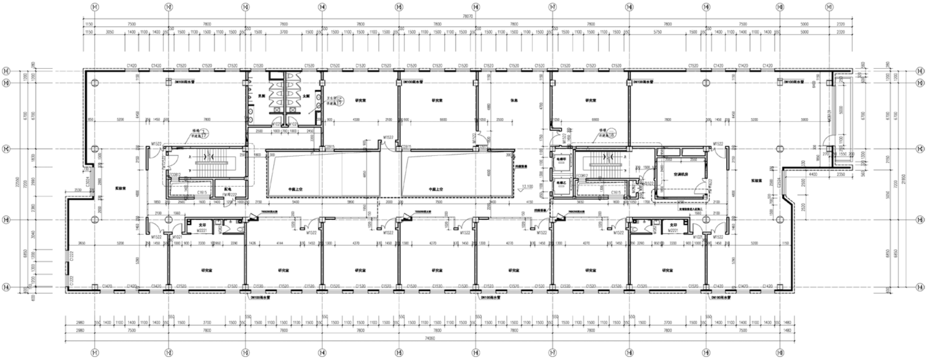


图 11-17　优化后建筑平面图

进行了集成设计优化。主要包括以下几个方面，如图 11-18 所示。

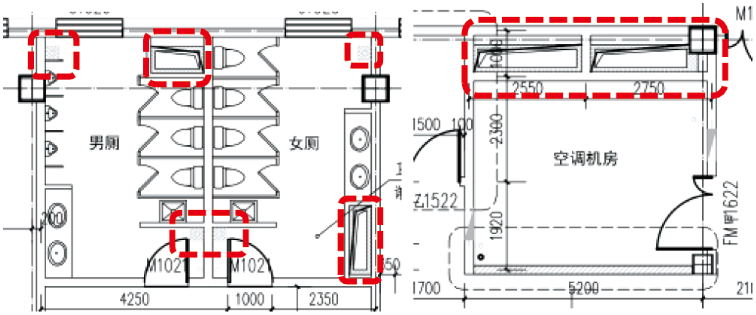


图 11-18　卫生间、空调机房竖井和立管保温隔声处理平面图

（1）尽量集成、归并建筑设备管线，减少穿围护墙体的管线，简化保温和气密处理措施。

（2）雨水立管尽量布置在保温层外侧，当需要穿过建筑内部时，均设置于独立空间内，做保温、气密及隔声处理。

（3）卫生间竖井、空调机房竖井、排水立管、排油烟竖井增加保温、隔声、气密处理。

正是因为采用了以上系统性的集成设计方法，并在采购、生产、施工环节很好地贯彻了设计要求。本项目经中德相关权威机构检测验收，主要节能指标均达成了预期目标：

年供暖需求：≤ 15kW·h/（m^2·a）。

年制冷需求：≤ 25kW·h/（m^2·a）。

一次能源需求：≤ 120kW·h/（m^2·a）（包括：采暖、制冷、除湿、热水、照明、设备辅助用电和电气设备用能）。

室内温度：20~26℃。

相对湿度：40%~60%。

CO_2 含量：≤ 1000×10^{-6}。

气密性：N_{50} ≤ 0.6 次 /h。

经中国住房和城乡建设部科技与产业化促进中心与德国能源署联合验收，该项目各项指标均满足超低能耗建筑的目标值，项目顺利通过验收。

○ 第十二讲 装配式 +BIM

装配式建筑是设计、生产、施工、装修和管理“五位一体”和系统集成的建筑，不是“传统生产方式 + 装配化”的建筑，它应该具备 “标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理” 五大特点，是不用传统的设计、施工和管理模式进行装配化施工的建筑。

相比传统的建造方式，装配式建造更适合应用 BIM 的手段和方法。这是由于其精益建造的典型特征，系统集成的设计方法和数字营造的发展趋势共同决定的。

首先，精益建造是装配式建筑的典型特征，工厂生产的预制构件和部品部件，其误差以 mm 计，施工阶段“从拖泥带水到干净利索”，通过标准化的节点连接、拼装而成。生产和施工过程的材料消耗、工序流程、用工工时、辅材配件等均可量化，不同于传统方式的模糊、大概和不透明，因此能通过 BIM 实现“所见即所得”。

其次，装配式建造必须采用“系统集成”的设计方法，而BIM是“集成设计”的主要抓手。它串联起了设计、生产、施工、装修和管理全过程，服务于设计、建设、运维、拆除的全生命周期。可以数字化虚拟，信息化描述各种系统要素，实现信息化协同设计、可视化装配，工程量信息的交互和节点连接模拟及检验等全新运用，可以整合建筑全产业链，实现全员、全过程、全专业的信息化集成。

第三，装配式建造必然走向数字建造的发展道路。BIM是数字建造的基础，通过数字化的设计，将设计成果集成到数字化的建筑信息模型中，通过BIM向采购、生产、施工、运维阶段传递数字化的信息，从而支撑数字建造的全过程。

一、BIM与标准化设计

1. 标准化BIM构件库的建立

装配式建筑的典型特征是标准化的预制构件或部品在工厂生产，然后运输到施工现场装配、组装成整体。装配式建筑设计要适应其特点，在传统的设计方法中是通过预制构件加工图来表达预制构件的设计，其它平立剖面图纸的表达还是传统的二维表达形式。在装配式建筑BIM应用中，应该模拟工厂加工的方式，以“预制构件模型”的方式来进行系统集成和表达，这就需要建立装配式建筑的BIM构件库，如图12-1~图12-4所示。

通过装配式建筑BIM构件库的建立，可以不断增加BIM虚拟构件数量、种类和规格，逐步构建标准化预制构件库。

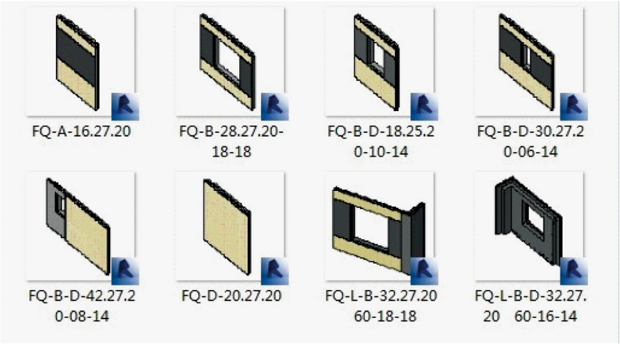


图 12-1　外墙板 BIM 构件库

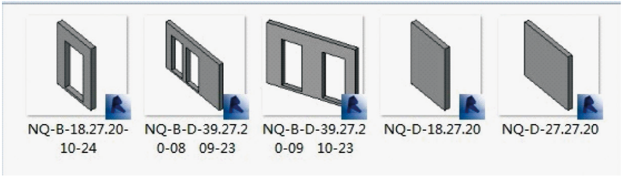


图 12-2　内墙板 BIM 构件库

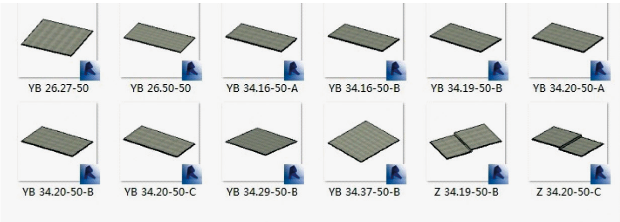


图 12-3　叠合楼板 BIM 构件库

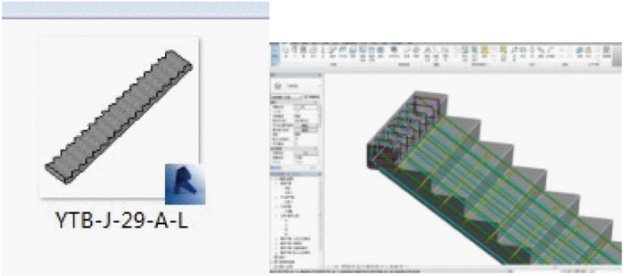


图 12-4　楼梯 BIM 构件库

2. 可视化设计

和传统建筑方式采用 BIM 类似，装配式建筑的 BIM 应用有利于通过可视化的设计实现人机友好协同和更为精细化的设计，如图 12-5 所示。

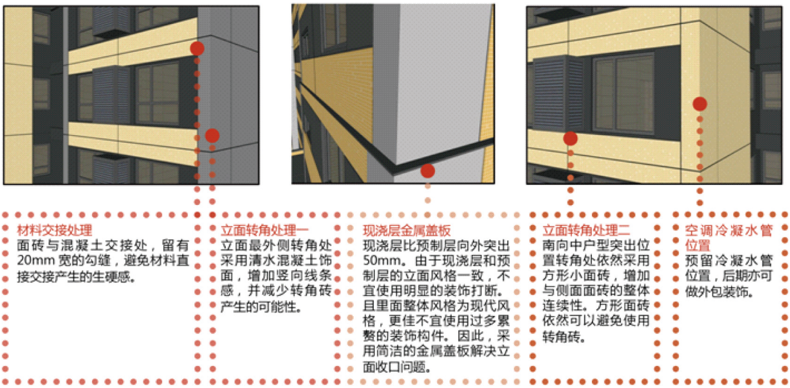


图 12-5　外墙板可视化设计

3. 构件组合设计

在装配式建筑中要做好预制构件的“拆分设计”，俗称“构件拆分”。传统方式下大多数情况都是在施工图完成以后再由构件厂进行“构件拆分”，正确的做法是基于 BIM 的构件组合设计，应该在前期策划阶段就专业介入，确定好装配式建筑的技术路线和产业化目标，方案设计阶段就应该根据既定目标依据构件拆分原则进行方案设计及创作。这样才能避免方案性的不合理造成后期的技术经济性的不合理，避免由于前后脱节造成的设计失误，如图 12-6 所示。

BIM 信息化有助于建立上述工作机制，单个外墙构件的几何属性经过可视化分析，可以对预制外墙板的类型数量进行优化，减少预制构件的类型和数量，如图 12-7 所示。

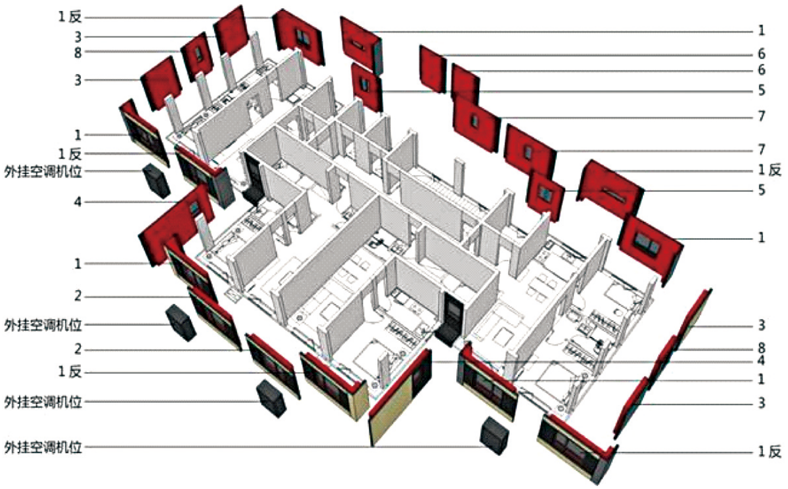


图 12-6　外墙板数量优化

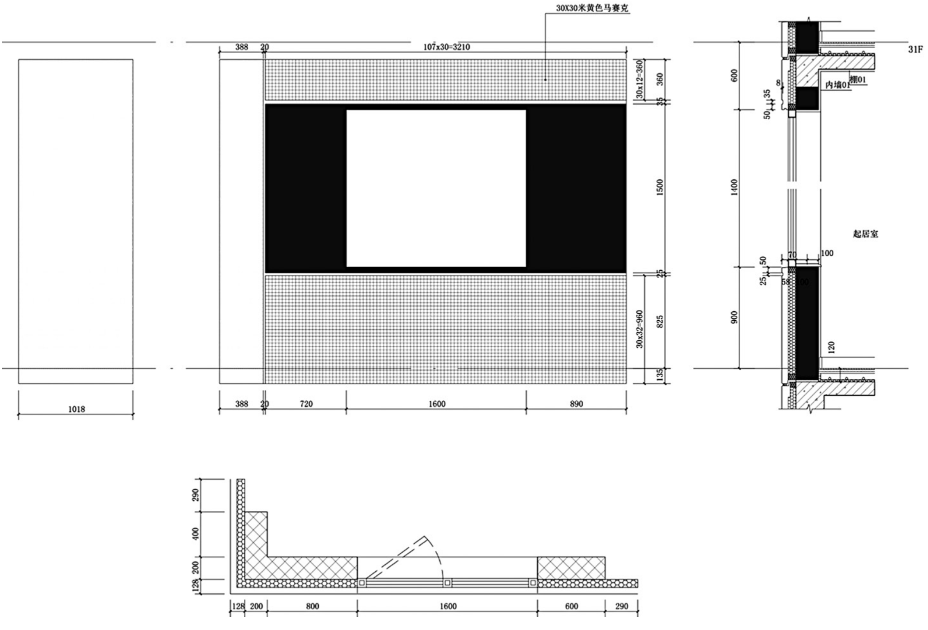


图 12-7　构件加工图

4.BIM 协同设计

BIM 模型以三维信息模型作为集成平台，在技术层面上适合各专业的协同工作。各专业可以基于同一模型进行工作。BIM 模型还包含了建筑的材料信息、工艺设备信息、成本信息等，这些信息可以进行数据分析等，使各专业的协同达到更高层次，如图 12-8 所示。

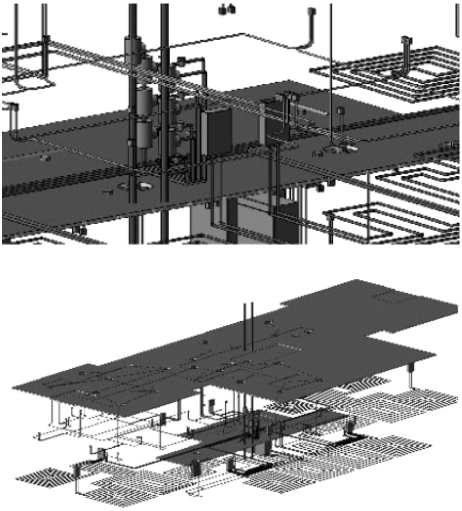


图 12-8　协同设计—碰撞检查

5.BIM 性能化分析

运用 CFD 软件分析模拟出建筑物周围行人区 1.5m 处的风速小于 5m/s；冬季建筑物前后压差不大于 5Pa，夏季建筑前后压差保持在 2Pa 左右。此外通过对本项目日照、投影的分析模拟，可以帮助我们调整设计策略，实现绿色目标，提高建筑性能，如图 12-9~ 图 12-11 所示。

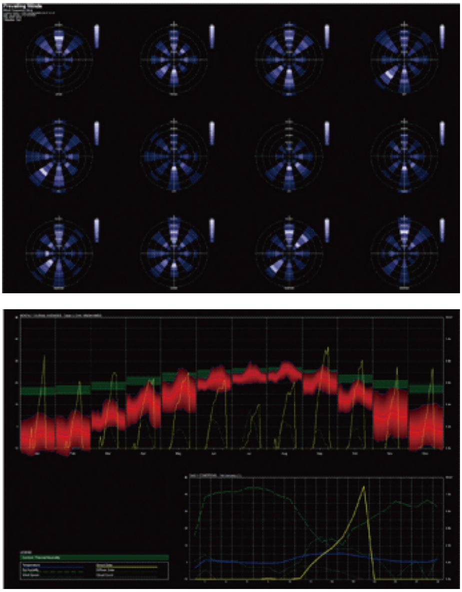


图 12-9　基地气候基础条件

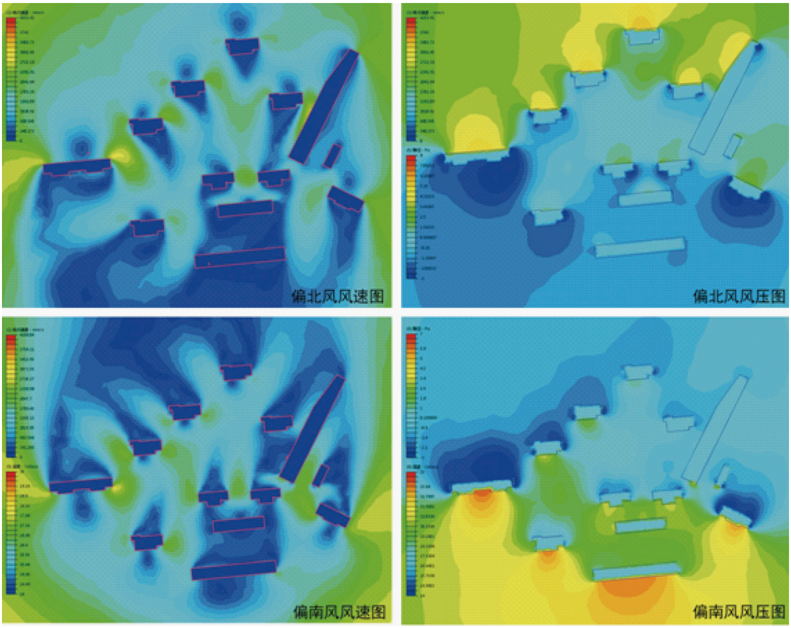


图 12-10　CFD 流场模拟

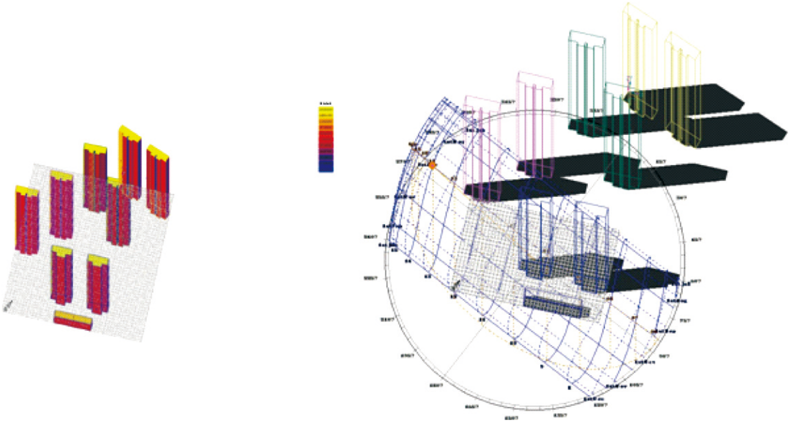


图 12-11　Ecotect 日照模拟

二、BIM 与工厂化生产

1. 构件加工图设计

通过 BIM 模型对建筑构件的信息化表达，构件加工图在 BIM 模型上直接完成和生成，不仅能清楚的表达传统图纸所能表达的二维关系，对于复杂的空间剖面关系也可以清楚表达，同时还能够将离散的二维图纸信息集中到一个模型当中。这样的模型能够更加紧密地实现与预制工厂的协同和对接，如图 12-12 所示。

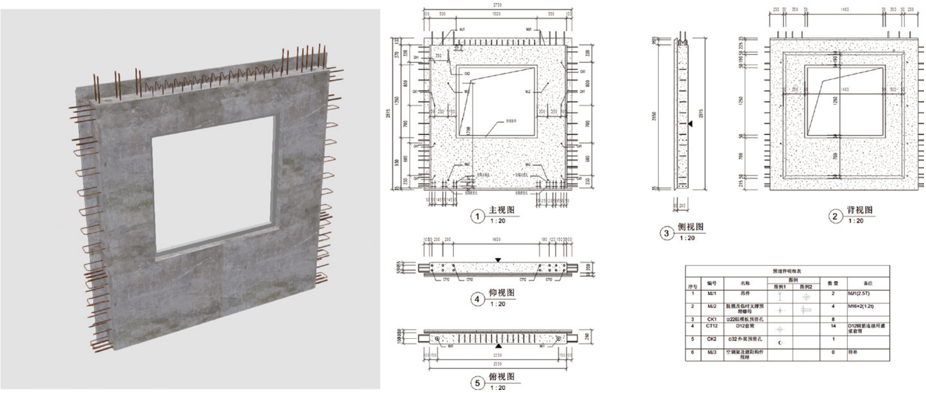


图 12-12　构件加工图

2. 构件生产指导

BIM 建模是对建筑的真实反映，在生产加工过程中，BIM 信息化技术可以直观地表达出配筋的空间关系和各种参数情况，能自动生成构件下料单、派工单、模具规格参数等生产表单。并且能通过可视化的直观表达帮助工人更好地理解设计意图，可以形成 BIM 生产模拟动画、流程图、说明图等辅助培训的材料，有助于提高工人生产的准确性和质量效率，如图 12-13，图 12-14 所示。

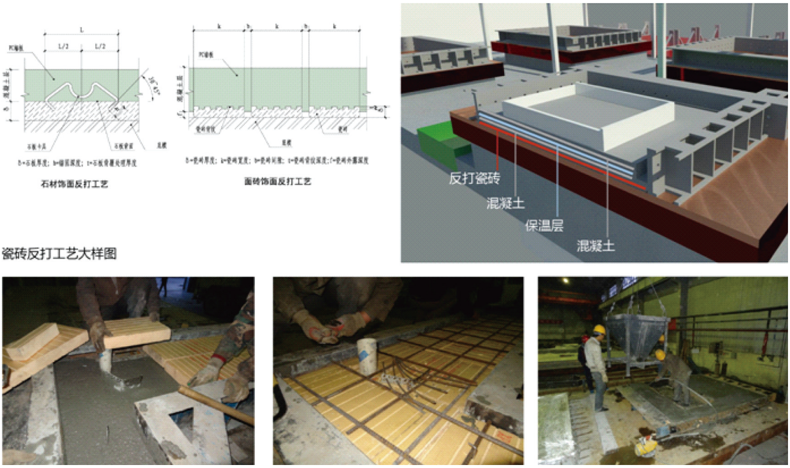


图 12-13　构件加工指导

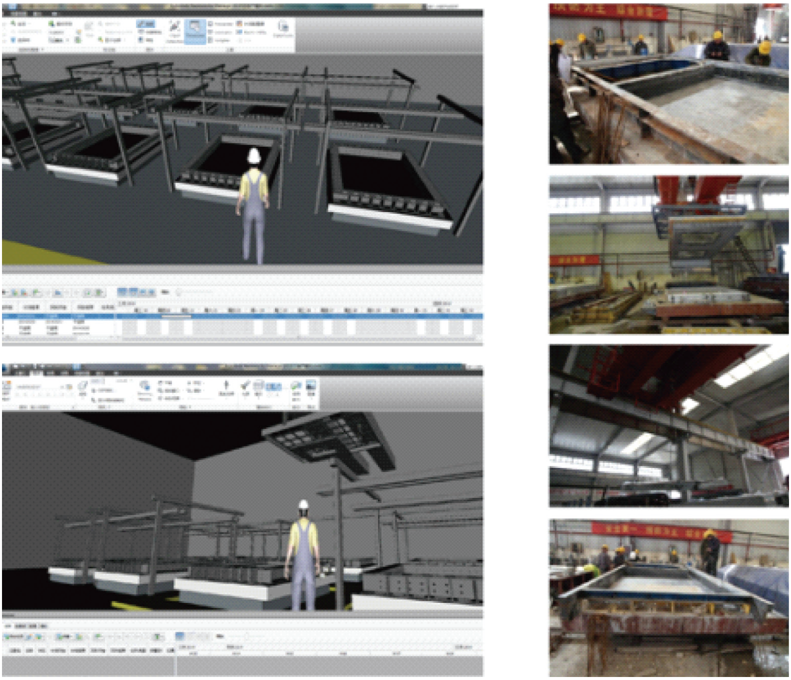


图 12-14　构件生产模拟

3. 通过 CAM 实现预制构件的数字化制造

借助工厂化、机械化的生产方式，采用集中、大型的生产设备，只需要将 BIM 信息数据输入设备，就可以实现机械的自动化生产，这种数字化的建造方式可以大大提高工作效率和生产质量。

比如现在已经实现了钢筋网片的商品化生产，符合设计要求的钢筋在工厂自动下料、自动成形、自动焊接（绑扎），形成标准化的钢筋网片。如果能打通设计信息模型和工厂自动化生产线之间的协同瓶颈，实现 CAM 将指日可待。

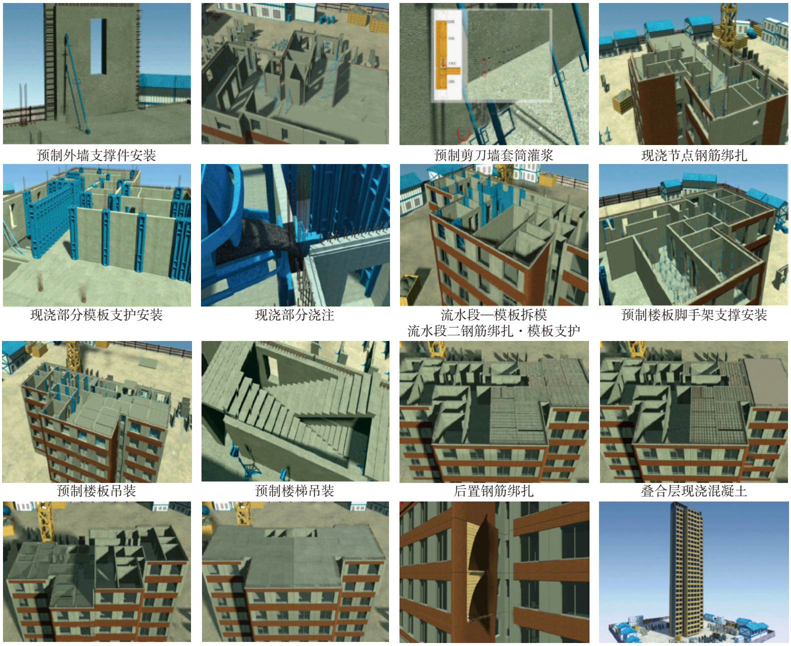
三、BIM 与装配化施工

1. 施工现场组织及工序模拟

将施工进度计划写入 BIM 信息模型，将空间信息与时间信息整合在一个可视的 4D 模型中，直观、精确地反映整个建筑的施工过程。提前预知本项目主要施工的控制方法、施工安排是否均衡、总体计划是否合理，场地布置是否合理，工序是否正确，并可进行及时优化，如图 12-15 所示。

2. 施工安装培训

通过虚拟建造，安装和施工管理人员都可以非常清晰地了解装配式建筑的组装构成，避免二维图纸造成的理解偏差，保证项目如期进行，如图 12-16 所示。



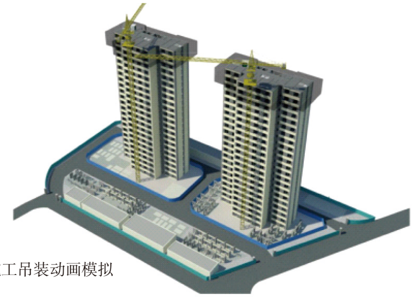
预制外墙支撑件安装　预制剪刀墙套筒灌浆　现浇节点钢筋绑扎

现浇部分模板支护安装　现浇部分浇注　流水段一模板拆模 流水段二钢筋绑扎・模板支护　预制楼板脚手架支撑安装

预制楼板吊装　预制楼梯吊装　后置钢筋绑扎　叠合层现浇混凝土

流水段— 预制外墙板吊装—内墙吊装—现浇部分　完成楼板　撕下牛皮纸保护层

图 12-15　施工过程模拟



施工吊装动画模拟

施工吊装动画模拟

图 12-16　施工模拟

3. 施工模拟碰撞检测

通过碰撞检测分析，可以对设计图纸中存在的在传统二维模式下不易察觉的“错漏碰缺”进行收集更正。如预制构件内部各组成部分碰撞检测，地暖管与电器管线进行碰撞检测，以此合理地避免潜在的交错碰撞问题，如图 12-17 所示。

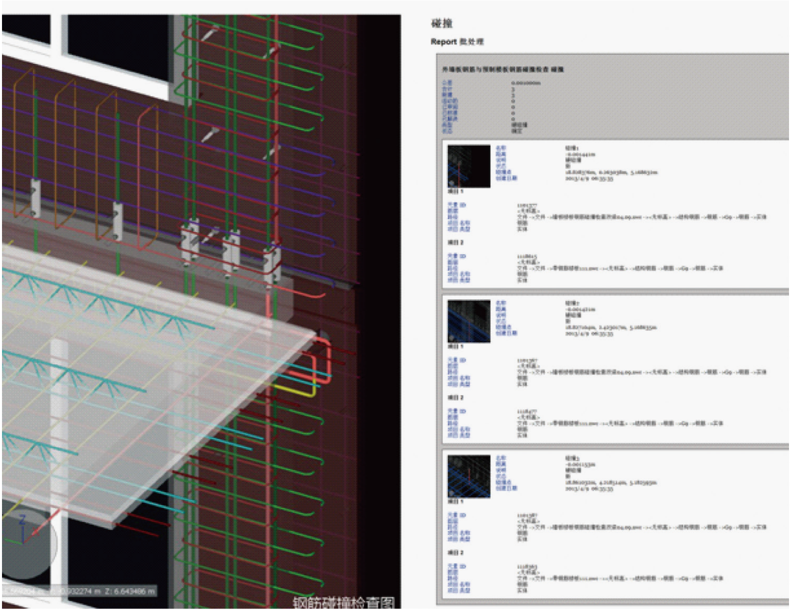


图 12-17　碰撞检测

4. 复杂节点的施工模拟，如图 12–18 所示

通过施工模拟对复杂部位和关键施工节点进行提前预演，增加工人对施工环境和施工措施的熟悉度，提高施工效率。

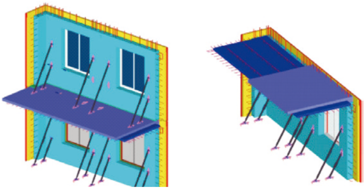


图 12-18　关键节点施工模拟

四、BIM 与一体化装修

1. 装修部品产品库的建设

土建装修一体化作为工业化生产方式可以促进全过程生产效率的提高。装修阶段的标准化设计集成到方案设计阶段，可以有效地对生产资源进行合理配置，如图 12-19 所示。

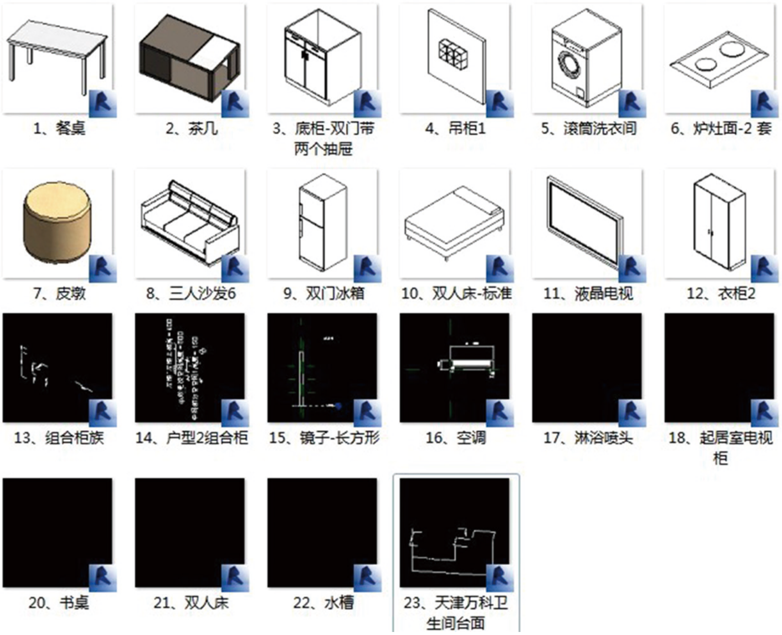


图 12-19　精装产品库建设

2. 内装可视化设计及工法模拟

室内渲染通过可视化的便利来保证室内的空间品质，帮助设计师精细化的设计和设计优化。整体卫浴等统一部品的 BIM 设计、模拟安装，可以实现

设计优化、成本统计、安装指导，如图 12-20 所示。

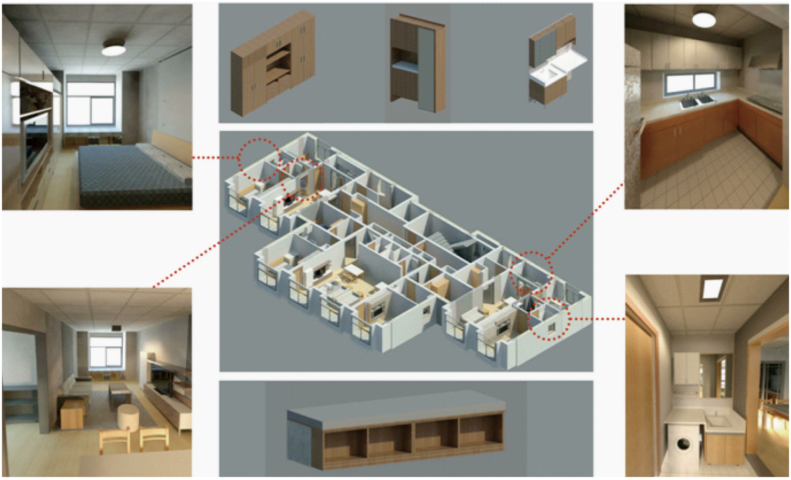


图 12-20　家居库

装修设计工作应在建筑设计时同期开展。将居室空间分解为几个功能区域，每个区域视为一个相对独立的功能模块。如厨房模块、卫生间模块，由装修方设计好几套模块化的布局方案，建筑设计时可直接套用模块化的方案。装修方在模块化设计时，综合考虑部品的尺寸关系，采用标准模数对空间及部品进行设计，以利于部品的工厂化生产。装修方在装配方案设计时，按照工厂下单图纸的精度标准进行，避免现场加工的尺寸误差，提高现场装配效率及部品的精确程度，如图 12-21~ 图 12-23 所示。

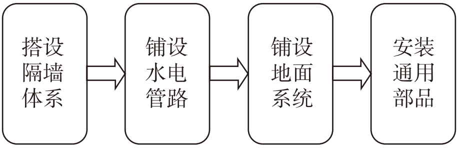


图 12-21　一体化装修流程

图 12-22　BIM 模型模拟

图 12-23　现场实际情况

3. 信息化集成

产业链中各家具生产厂商的商品信息都集成到 BIM 模型中，为内装部品的算量统计提供数据支持。对装修需要定制的部品和家具，可以在方案阶段就与生产厂家对接，实现家具的工厂批量化生产。同时预留好土建接口，按照模块化集成的原则确保其模数协调、机电支撑系统协调及整体协调，如图 12-24 所示。

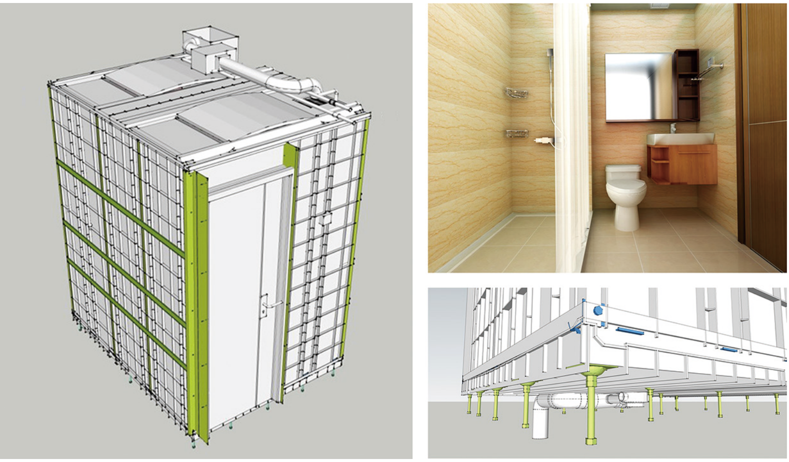


图 12-24　精装集成卫浴

五、BIM 与信息化管理

1. 经济算量分析

经济算量的主要原则是做到“计量、估价”，按照工业化建筑的组成及计价原则分为预制构件部分和现浇构件部分。结合工业化住宅的特点自主开发了装配式设计插件。通过该插件可以将预制构件与现浇构件进行快速的分类统计，如图 12-25~ 图 12-27 所示。

图 12-25　装配式设计插件

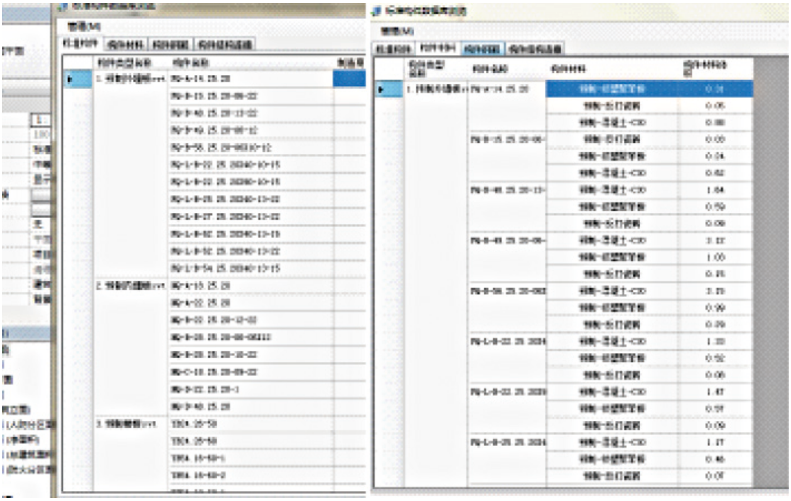


图 12-26　分项算量数据统计

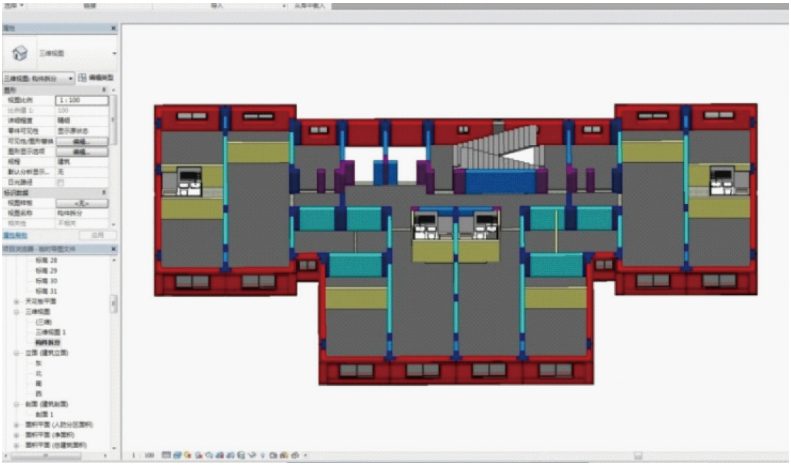


图 12-27　构件模型分类

通过该方式可以快速地对设计方案进行工程量统计，并进行方案比选。再由确定的工程量结合地区的定额计算出本项目的工程量清单，实现在方案策划阶段对成本的初步控制，见表 12-1、表 12-2。

表 12-1　算量数据汇总

构件信息 | 构件材料 | 分类构件材料 | 构件钢筋 | 构件结构连接件 | 门 | 窗

构件种类	构件材料	构件材料面积	构件材料体积
1. 预制外墙板rvt	预制-反打瓷砖	67363.66	333.24
	预制-混凝土-C30	137478.94	6587.51
	预制-挤塑聚苯板	71612.71	2275.69
2. 预制内墙板rvt	预制-混凝土-C30	13136.96	1171.20
3. 预制楼板rvt	预制-混凝土-C30	272685.37	3772.43
4. 预制女儿墙rvt	预制-反打瓷砖	179.47	0.89
	预制-混凝土-C30	376.21	17.54
	预制-挤塑聚苯板	173.06	5.52

表 12-2　工程量清单算量明细表

预制构件工程量清单（总表）(测算依据：北京市建设工程预算定额2012、工程量清单项目计量规范2013-北京)									含税费综合价 (根据北京地区以往工程经验所得估价)	
预制件类型		构件材质	编号	个数	单项体积 (m³)	体积合计 (m³)	折合单价 (元)	价格合计　　(元)	折合单价 (元)	价格合计 (元)
预制外墙板	预制外墙板	混凝土	FQ-1	216	1.57	339.12				
			FQ-2	108	2.48	267.84				
			FQ-3	216	1.72	371.52				
			FQ-4	108	1.47	158.76				
			FQ-5	108	3.21	346.68				
						1483.92	1776.26	2635827.739	3500	5193720
	保温板	挤塑聚苯板	FQ-1	216	0.54	116.64				
			FQ-2	108	0.81	87.48				
			FQ-3	216	0.58	125.28				
			FQ-4	108	0.5	54				
			FQ-5	108	1.01	109.08				
						492.48	1400	689472		
预制内墙板		混凝土	NQ-1	108	1.77	191.16				
			NQ-2	108	1.99	214.92				
			NQ-3	108	2.32	250.56				
			NQ-4	108	2.02	218.16				
						874.8	1381.34	1208396.232	2200	1924560
预制楼板		混凝土	YB-1	432	0.55	237.6				
			YB-2	216	0.75	162				
			YB-3	108	0.16	17.28				
			YB-4	108	0.54	58.32				
						475.2	2019.14	959495.328	2000	950400
预制设备平台(空调板)		混凝土	YKB-1	416	1.26	524.16	2257.31	1183191.61	2000	1048320
预制楼梯		混凝土	YTB-1	52	1.25	65	2019.14	131244.1	2000	130000

2.RFID 等实现装配式建筑质量管理可追溯

实现在同一 BIM 模型上建筑信息集成，BIM 服务贯穿整个工程全生命周期过程。一方面实现管理信息化，另一方面可以将生产、施工及运维阶段的实际需求及技术整合到设计阶段，在虚拟环境中预演现实，真正实现 BIM 信息化应用的信息集成优势。通过在预制构件中预埋芯片等数字化标签，在生产、运输、施工、管理的各个重要环节记录相应的质量管理信息，可以实现建筑质量的责任可追溯。通过明确永久的信息化管理，提高建筑质量，如图 12-28 所示。

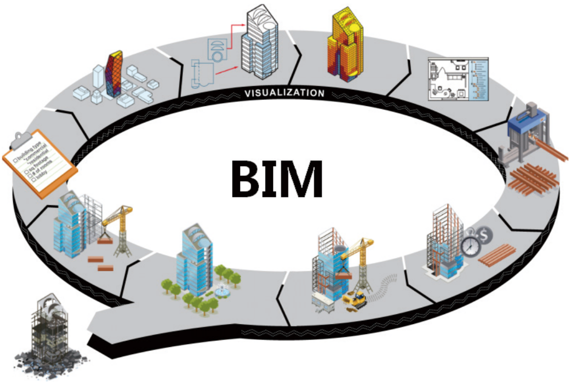


图 12-28　BIM 在建筑全生命期应用（图片来源 AUTOdesk 公司）

3. 利用 BIM 云平台实现适时、跨地域、数字化的管理

BIM 信息化技术与云技术相结合，可以有效地将信息在云端进行无缝传递，打通各部门之间的横向联系，通过借助移动设备设置客户端，可以实时查看项目所需要信息，真正实现项目合作的可移动办公，提高项目的完成精度。

北京市建筑设计研究院有限公司（BIAD）董事长、总建筑师朱小地先生2012年2月在北京市建筑设计研究院工作报告中指出："建筑设计行业要依托互联网，利用BIM和云计算技术，搭建一个开放的建设工程协同服务平台，将咨询、规划、设计、建造和管理各个环节全部整合在平台上，实现全程协同工作和建筑全寿命周期的管理。" 装配式建筑必将依托BIM信息化技术，开拓出一条依托于虚拟构件库、BIM信息化集成的BIM云平台的全产业链、全生命周期创新应用之路。装配式建筑设计如何在行业BIM信息化的背景下，融入信息化大潮，发挥自身研发、设计和集成的优势，实现产业链拓展和过程阶段延伸，必将成为建筑产业化新时代的创新趋势。围绕这一创新趋势，设计行业将大有可为，如图12-29所示。

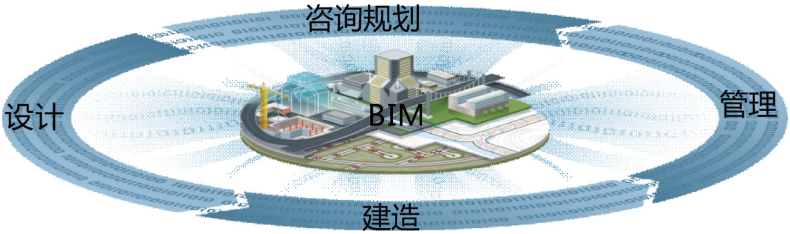


图12-2 9　BIM实现规划、设计、建造、管理一体化（图片来源AUTOdesk公司）

○ 第十三讲 装配式 + 智能化建造

装配式建筑的典型特征是标准化的预制构件或部品在工厂生产，然后运输到施工现场装配、组装成整体。其先进之处在于以工厂的机械化生产代替现场的手工劳动，是对建筑生产力的极大解放。但是，仅仅如此还不够，如果不能在工厂实现自动化、智能化，还保留大量工厂化的手工劳动，仅仅是将现场的工人请到了工厂，将大大降低建筑工业化带来的社会和经济价值。我们调研了几十家近几年建成的预制工厂，撇开很多经营不善的不说，以典型的年产 30 万 m^3 左右，生产任务比较饱满的工厂为例，每天上班的工人高达 200 多人，相当于将现场搬到了工厂，生产效率提升有限。而对比发达国家的同规模工厂，每条智能化生产线仅须每班 6 名工人，每日 3 班，即可实现 20 万 m^3 PC 构件的产能。这个差距应该就是我们近几年需要提高并努力达到的目标。

因此，在今天这个时点上谈“装配式建筑”，不能仅仅从预制率（装配率）

的高低来谈，也不能仅仅从机械化、自动化的层面来谈，而要站在装配式+智能建造的高度，立足于发展出与人类第四次产业革命相适应的新生产力来规划部署，才能真正实现提高效率、减少消耗的目标。因此需要打造基于 BIM 的工业化智能建造体系。该体系应该致力于为项目各相关方提供设计、生产、建造、运营的全生命周期中不同阶段一体化的智能化服务，并满足如下初步设想的基本要求。

一、设计阶段 BIM 应用（装配式建筑的 BIM 设计）

装配式建筑设计要适应上述装配式建筑的典型特征，需要在传统的设计方法中通过信息化的BIM方法，摆脱传统的预制构件加工图通过二维表达形式来表达和传递的设计信息，代之以三维形式表达和传递的数字化信息。在设计阶段积极引入BIM 应用，可以实现基于构件库的高效协同设计、碰撞检查、材料用量统计、预制率装配率计算、预制构件详图设计等。不仅如此，还应该模拟工厂加工的方式，以“预制构件模型”的形式来进行系统集成和表达，这就需要建立装配式建筑的 BIM 构件库，如图 13-1 所示。

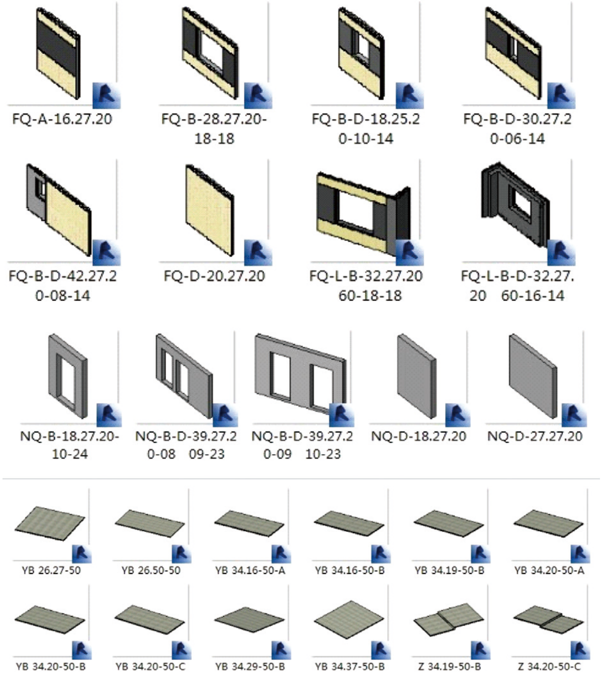


图 13-1 BIM 构件库

通过 BIM 模型对建筑构件的信息化表达，构件加工图在 BIM 模型上直接完成和生成，不仅能清楚地表达传统图纸所能表达的二维关系，对于复杂的空间关系也可以清楚表达，同时还能够将离散的二维图纸信息集中到一个模型当中。这样的模型能够更加紧密地实现与预制工厂的协同和对接。

实现设计计算机与生产计算机之间的数据交流，是实现“物物相连”工业物联网的基础，也是“智能建造”的基础。本体系设想基于 BIM 平台的数据传输，建立一种“物物相连”的数据交流机制，各个专业还是利用自己习惯的设计工具软件来完成相关的设计，并把设计结果返回到 BIM 平台的预制构件中，来实现设计计算机与生产计算机之间的信息交互。

以结构专业为例，可以结合 BIM 模型，使用 PKPM、鸿业等结构软件，并把结果返回到 BIM 之中。比如实现 SATWE 结构配筋计算结果与 BIM 模型的交互，如图 13-2 所示。

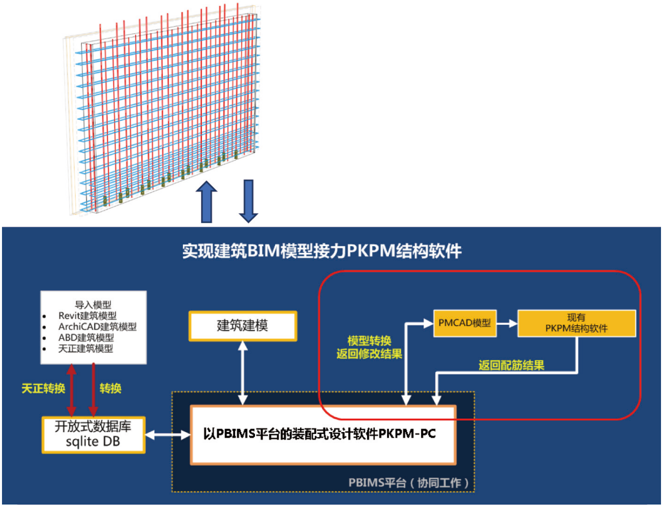


图 13-2　结构与模型交互

二、构件深化设计阶段——BIM 自动生成材料清单

BIM 构件深化设计不同于传统意义上的设计，其相当于在虚拟世界中重建了一个预制构件的数字化复制品，理论上应该包含所有的构件要素信息。因此我们可以直接从每一个构件的 BIM 模型中自动生成构件所用的全部材料清单，如图 13-3 所示。

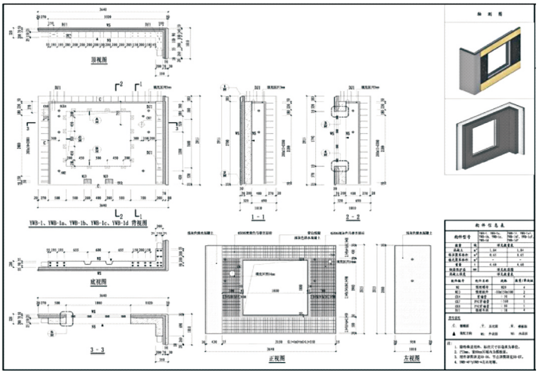


图 13-3　构件信息集成

传统建造流程和智能建造流程对 BIM 的应用有很大不同，如图 13-4 所示。

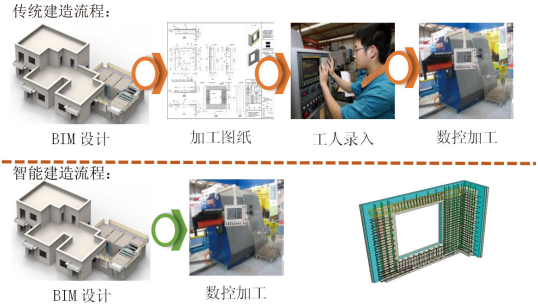


图 13-4　传统与智能化的流程对比

三、钢筋加工阶段——从 BIM 到 CAM（BIM 接力数控加工）

大多数的钢筋加工生产线不能直接从 BIM 模型中读取机器需要的信息，需要通过人工读取设计图纸上的信息，输入自动化设备，才能实现后续阶段的流水线自动化生产，如图 13-5、图 13-6 所

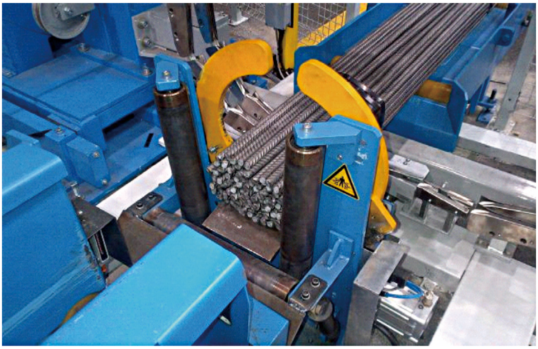


图 13-5　钢筋自动化加工

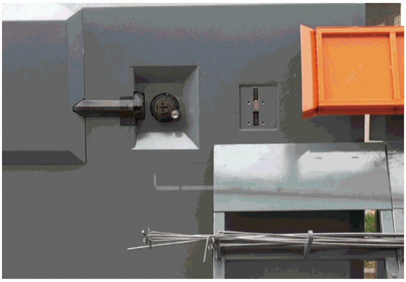


图 13-6　钢筋自动化加工

示。在钢筋加工阶段，为了实现 BIM 基础上的 CAM（BIM 借力数控加工）数字化自动加工，需要 BIM 编码等数字信息直接被机器“读懂”，实现钢筋的自动下料、拉直、截断、弯折、焊接、组合等功能。当前的钢筋自动化生产线具备一定的自动化加工能力，通过在 BIM 中加入数字代码，BIM 信息可以实现从 BIM 到 CAM 的“接力”，如图 13-7 所示。

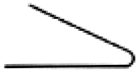
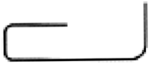
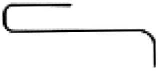
形状代码	形状示意图	形状代码	形状示意图	形状代码	形状示意图
0000		1000		1010	
1020		1030			
2010		2011		2020	
2021		2030		2031	
2040		2041		2050	
2060		3010		3011	

图 13-7　钢筋自动化加工代码依据

四、构件生产阶段——从 CAM 到 CAC

由于装备发展水平的原因，PC 构件生产设备尚不具备从 BIM 到 CAM 的“接力”能力。结合对国际先进装备的学习，我们设想构件生产阶段需要实现

以下两个阶段目标：第一阶段：准备阶段——BIM 基础上的备料、划线、布边模、布内模、吊装钢筋网；第二阶段：混凝土浇筑阶段—备料、搅拌、运送、自动浇筑、振捣、养护、脱模、存放。

智能建造流程设想如下。

第一阶段：准备阶段

（1）BIM 提供设备需要的构件信息，设备自动识别取料位置及数量（图 13-8）。

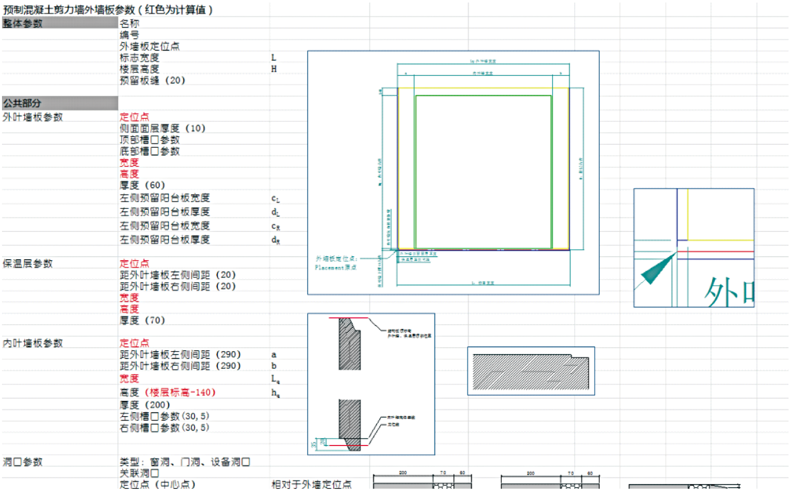


图 13-8　BIM 传递构件信息

（2）机械手自动划线，绘制开孔、管线位置、模具位置等（图 13-9）。

（3）机械手自动布置模具等（图 13-10）。

（4）吊装钢筋网（图 13-11）。

图 13-9　机械手自动划线

图 13-10　机械手自动布模

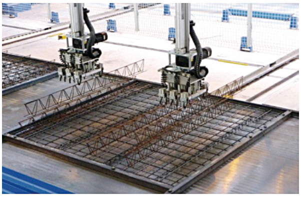


图 13-11　机械手布置钢筋网

第二阶段：混凝土浇筑

（1）备料、搅拌、运送、自动浇筑、振捣（图 13-12）。

（2）养护（图 13-13）。

（3）脱模（图 13-14）。

（4）存放（图 13-15）。

图 13-12　构件浇筑混凝土

图 13-13　构件入仓养护

图 13-14　构件脱模吊装

图 13-15　构件入库存放

五、构件安装阶段——尚在探索研究的智能工地

施工现场是实现智能建造的难点，国际国内都缺少系统性的整体解决方案和案例经验，要达到智能建造目标任重而道远，需要从设计开始就进行整体策划，提供一揽子的系统解决方案。

（1）构件组合思路下的 BIM 建模：需要应用 BIM 构件库资源，组合系统性的数字设计成果，将设计信息数字化，如图 13-16、图 13-17 所示。

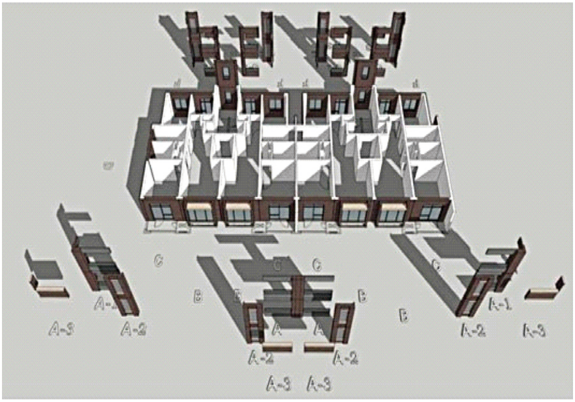


图 13-16　用构件库资源进行组合建模

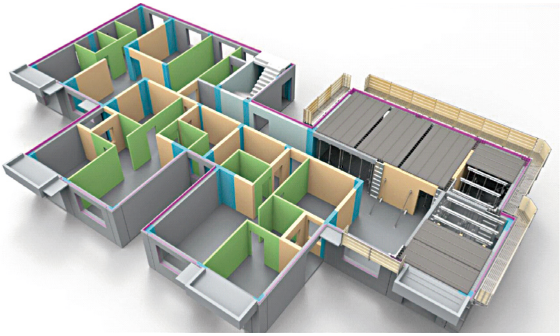


图 13-17　建成的可视化数字模型

（2）构件身份编码：类似于广泛应用的商品编码，需要支持其生产、存放、运输、销售、追溯阶段的应用，如图 13-18 所示。

图 13-18　类似工业产品的构件编码系统

（3）基于 BIM 的施工组织设计：至少应包括以下几个方面：

1）构件运输方案及 BIM 模拟 。

2）构件吊装方案及 BIM 模拟 。

3）构件安装方案及 BIM 模拟 ，如图 13-19~ 图 13-22 所示。

图 13-19　构件安装 BIM 模拟 1

图 13-20　构件安装 BIM 模拟 2

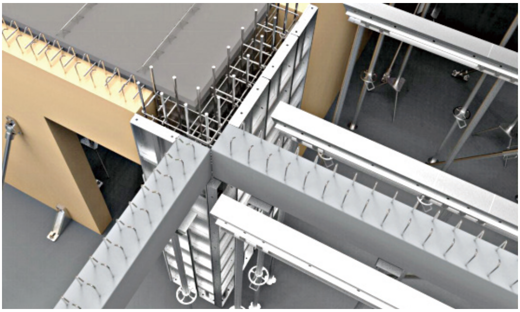


图 13-21　构件安装 BIM 模拟 3

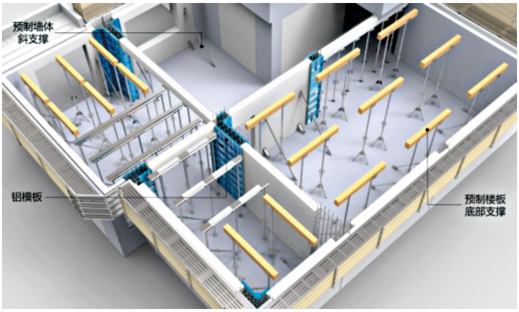


图 13-22　构件安装 BIM 模拟 4

（4）虚拟进度和实际进度的对比：应该依据项目要求，编制施工组织计划和进度，并建立相应的 BIM 模型。实施时按照实际进度建模，并适时进行基于 BIM 模型的自动对比。当实际进度与虚拟进度达到设定的差距时，自动预警并启动相关处置机制。

（5）质量和安全的管理

1）全流程节点确认及可追溯信息记录。

2）基于互联网的动态实时管理 。

3）工地运营系统的建设。

4）大型建筑设备运行管理。

5）工地空间管理。

工地质量与安全管理，是施工阶段智能化管理的重要内容。我们只能从一些国外资料管中窥豹。这些方面的研究和实践，还需要专业的研究机构和施工企业来进一步落实，如图 13-23 所示。

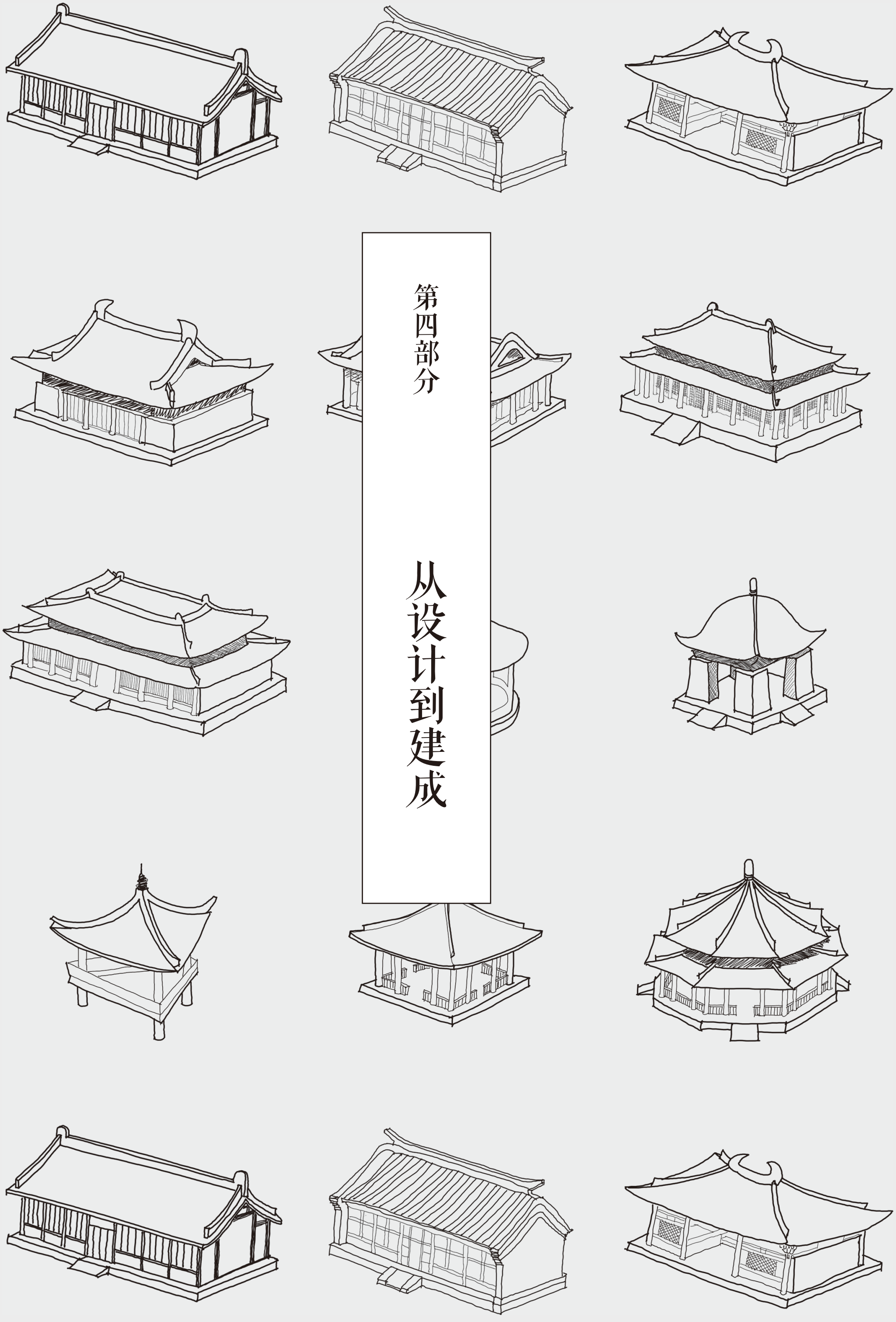
图 13-23　工地质量安全信息化管理

六、BIM+ 智能建造面临的问题及思考

BIM 在建设工程中的应用已经实践了 10 多年，设计、生产、施工、装修、管理各个阶段的 BIM 应用，已经具备一定的基础。在建筑业各个环节技术进步、效率提升、效益创效等方面也发挥了非常重要的作用。但距离先进水平尚有很大差距，对标智能建造要求，现实的关键问题是信息没有在全链条流转，各个环节不闭合。具体来说，设计阶段、生产阶段、施工阶段、

运营阶段各有各的 BIM，每个阶段均自我建模、自我封闭，隔绝了有用的信息在各环节之间的转递，无法实现设计、生产、施工、运维阶段的信息交互。

正如本讲一开始所言，实现设计计算机与生产计算机之间的数据交流，是“物物相连”实现工业物联网的基础，也是装配式建筑实现“智能建造”的基础。要实现装配式建筑的智能建造，必须要以全链条的数据信息交流为前提。只有建立起设计、采购、生产、施工阶段的基于 BIM 的信息传递机制，实现全产业链条数据信息传递链的闭合，才能支撑起基于互联网 + 物联网的智能化管理，实现 CAC（智能建造）。全过程的 EPC 模式，由于实现了设计、采购、生产、施工由一个责任主体承担，有利于建立起一体化的信息传递机制，实现信息链的闭合。因此，全过程的 EPC 工程总承包模式，是最有可能推进 BIM+ 智能建造，实现本书前述预设目标的生产组织形式。



第四部分

从设计到建成

○ 第十四讲 十年探索——2007~2017 年建筑工业化历程

2006 年，通过竞聘我到第十设计所担任副所长，分管建筑专业和科技工作。不久，时任北京市建筑设计研究院院长的朱小地给了我们一个与北京万科洽谈合作的机会。经过努力，我们顺利地取得了中粮万科假日风景五个地块共 60 多万 m^2 的项目设计任务。在设计了一期 A、C 地块之后，拿到了当年的万科集团地产解决方案奖和最佳设计供方奖。2006 年底，时任北京万科总经理的周卫军从王石董事长那里领到了一个“艰巨”的任务——北京公司必须从 2007 年开始投入建筑工业化，必须有不少于 1 万 m^2 的项目

要实施。很荣幸，周总选择了中粮万科假日风景项目（以下简称假日风景）和我们团队作为本任务实施的设计主体。由此，开启了十年的建筑工业化探索之路。

一、起步——假日风景 B3#、B4# 工业化住宅

B3#、B4# 楼高 45m，地上 15 层，总建筑面积约 8100m^2。2007 年开始经过一系列的调查、研究、充分论证及设计工作后，于 2008 年 3 月 8 日开工建设。采用装配式剪力墙结构，南北外墙、楼梯、阳台板、空调板均为工厂预制，其余部分为现场浇筑，采用了三明治夹心保温一体化预制外墙和全装修解决方案，购房者收房后可直接入住，免去了后期装修环节，从根本上杜绝了装修垃圾的产生，如图 14-1 所示。

主要的创新技术有：

图 14-1　假日风景 B 区鸟瞰

1. 装配整体式剪力墙结构的提出

设计之初，有两个方向性的问题。

其一，选择结构体系的问题。选择剪力墙结构，是因为万科公司考虑到受众住房消费习惯的问题，担心变化太大影响销售。

其二，没有规范可依，如何确保项目合规？经北京院技术委员会决定，并通过两次由国内顶级专家组成的超限专家评审会，明确了通过实验研究和结构分析，保证预制构件的连接节点等同于现浇节点的性能化设计技术路线（也就是后来大家说的“等同于现浇”），就可以按现浇混凝土规范来设计和审查，从而扫清了项目最大的障碍。因技术引进原因，同时也是由于实验工作没跟上，本工程没有使用灌浆套筒，结构工程师通过巧妙布置，让现浇部分抵抗水平力，竖向预制部分不参与抗震计算。

2. 外窗精确安装工艺及防渗漏技术

预制外墙板精度误差能控制在 2mm 以内，解决了门窗洞口与工厂生产的门窗部品尺寸匹配的问题，提升了外门窗的气密性和防渗漏性能。

3. 外墙防水构造

水平缝采用了“反槛构造防水、空腔构造防水和硅酮胶材料防水”三道防水；垂直缝采用了“现浇钢筋混凝土结构自防水、空腔构造防水和硅酮胶材料防水”三道防水。实践证明，本外墙防水构造性能优异、质量可靠。

4. 预制楼梯

采用预制楼梯能充分发挥工厂化预制的优势，提高生产率，提高施工质量。预制楼梯采用了一端固定，另一端滑动的节点构造。

5. 内装及机电系统工厂化

全装修作为住宅产业化的重要组成部分，使得住房品质得到充分保证。项目基本做到了“一体化装修”，但装修工艺尚偏传统，湿作业多。

6. 产业化与传统方式节能减排成效对比

在 B3#、B4# 楼建造全过程中，对其物耗、能耗进行了统计，并与另外两栋同户型、同高度、同规模的传统的建造方式进行了比较。经统计，得出减少废钢筋节约 40.63%，减少废节约 55.32%，减少废木材 52.31%，节水 19.34% 的现场统计数据，为建筑工业化在节能减排中发挥作用提供了可信的一手资料。

二、完善——假日风景 D1#、D8# 工业化住宅

通过总结 B3#、B4# 产业化试点项目的成功实施经验，结合相关科研进展，2008 年，我们又设计了假日风景 D1#、D8# 工业化住宅，如图 14-2 所示。D1#、D8# 楼建筑面积为 3.5 万 m^2，地上 15 层。项目在 B3#、B4# 楼的基础上，增加了灌浆套筒连接、叠合楼板、预制清水混凝土外墙及太阳能热水技术，将绿色建筑评价星级提高到 2 星，技术体系进一步提升。D1#、D8# 工业化住宅的技术创新亮点有：

（1）预制外墙参与抗震，是我国第一栋“装配整体式剪力墙结构体系”住宅。

（2）考虑模数协调，按“少规格、多组合”原则，减少了模板数量和种类。

（3）承重保温装饰一体化外墙采用了清水混凝土的外饰面。

（4）通过整体模数协调，基本实现土建和装修的“集成”，大部分装修部品部件的“工厂化制造”和现场的“装配式施工”。

（5）施工体系的逐步完善，包括模具体系和施工工艺配套等措施，专用施工机具、工法和质量管理模式，初步体现了工业化预制装配的特点。

图 14-2　假日风景 D1#、D8# 楼建成实景

（6）太阳能热水系统与建筑一体化设计，采用“集中集热 - 分户贮水 - 分户使用”系统来满足可再生能源的利用。

三、绿色 + ——中粮万科长阳半岛工业化住宅组团

利用假日风景 D1#、D8# 工业化住宅的标准化户型模块，2010 年设计了长阳半岛工业化住宅组团，总建筑面积约 5 万 m²，地上 12 层，如图 14-3 所示。项目在 D1#、D8# 的基础上，突出了绿色 + 工业化的集成创新，增加了外墙整体预制，绿色规划和节能绿色技术的集成应用等，无外架施工。2012 年项目通过了住建部“绿色三星设计标识”认证，主要技术创新点有：

（1）绿色规划：项目依托轨道交通优势，形成人车分流并结合集中绿化景观的回家流线，使居住者享受到出地铁后最后一公里安全便捷、舒适优美

图 14-3　长阳半岛建成实景

的步行体验，鼓励居民的步行出行，减少私家车的使用。

（2）绿色景观和场地：采用复层绿化方式，增加乔木种植量，采用微喷灌节水灌溉方式，透水地面面积比达 61.6%，雨水回渗，补充涵养地下水资源。

（3）整体外墙实现装配化，为“绿色施工”创造条件。

本工程实现了除楼梯外墙之外的整体外墙的预制装配。整体外墙装配，现场无须搭设外脚手架，实现“无外架施工”，有利于现场的“绿色施工”。

（4）其他节能绿色技术的集成应用：采用了垃圾分类收集和专用厨余垃圾处理系统；中水等非传统水源利用达到 30.4%，节水器具使用率 100%；地下车库设置导光管及小型照明智能控制系统；太阳能草坪灯、路灯等绿色环保节能技术与建筑工业化技术集成应用。

四、成本——大连万科城二期工业化住宅

经过 5 年的实践，万科集团北京区域认为，工业化的推进受制于增量成本。成本问题严重阻碍了技术的全面推广，本项目因此承担了“降成本”的重要使命。

图 14-4 大连万科城二期工业化住宅

大连万科万科城二期两栋工业化住宅，建筑高度 100m，28 层，总建筑面积 19568.4 m^2（图 14-4）。2013 年设计，采取了以下“降成本”的优化手段：

（1）通过方案优化降低成本

标准化的户型模块，通过全体系的模数协调，围绕提高模板使用效率和体系集成度的目标进行设计，通过建筑设计的模数化、标准、系列化，进而实现预制构件的“少规格、多组合”。

（2）通过构件拆分优化降低成本，如减少立体构件，统一外窗尺寸，现浇节点标准化的等措施，使设计进一步优化。

（3）通过改善工厂工艺，采用面砖饰面，利用其材料和人工费的总价差，降低饰面造价。

（4）利用好 BIM 工具，降低成本。通过建立带有构件信息的 BIM 模型，即时提供构件工程量信息，帮助成本优化。

（5）卫浴装修通过“系统集成”的整体卫浴降低成本提高工效。

（6）系统集成设计，优化降低成本。综合全专业，构建一个完整的建筑系统，做到系统成本最优。

五、拓展——北京市半步桥公租房项目

图 14-5 半步桥公租房建成实景

建筑工业化技术应用首次从商品房拓展到保障性住房上，建筑高度 72m，23 层，总建筑面积 20002 m^2，2010 年设计，如图 14-5 所示。项目特点有：

（1）户型模数化应用：按照“建筑设计标准化、部品生产工厂化、现场施工装配化、物流配送专业化”的原则进行设计和建造。采用统一开间（6.0m）和进深（7.5m）的单元模块进行组合，单元模块内部可以灵活布局，也便于多样化组合。

（2）采用了装配整体式剪力墙结构技术，预制外墙板规格达到了 6m。

（3）外门窗装配及防水工艺，门窗洞口模数化、标准化设计，与工厂制造的保温隔热外窗能精确安装，解决了外窗渗漏的问题。

（4）采用标准化的预制阳台和预制空调板提高了施工质量和效率。

（5）预制楼梯，清水混凝土预制楼梯表面光洁平整，免二次装修，踏步防滑条在工厂同步完成。

（6）一体化精装修，全部厨房和卫生间统一配置，一次性安装到位。户内设置了收纳系统，固定家具实现了工厂化预制。

（7）节能减排对比，同一项目工业化住宅与非工业化住宅对比，工业化住宅工期提前了 50 天，节水方面节省了 10%，混凝土节约 10%。

六、成熟——万科新里程项目及万科紫云家园项目

新里程和紫云家园这两个项目，分别有 10 万 m^2 和 9.5 万 m^2，高度 45m，15 层左右，如图 14-6、图 14-7 所示。是我这十年与北京万科合作建筑工业化规模最大的两个项目，经过 5 年探索及实践，逐渐改进和完善了保温装饰承重一体化外墙、无外架施工、外窗精确化安装工艺、外墙防水工艺、预制楼梯、预制阳台和预制空调板、精装修全面家居解决方案、BIM 应用等做法，这些做法变得非常成熟，并结合生产工艺和施工工法，演变成为北京市主流的建筑工业化住宅体系。其主要特点有：

图 14- 6　万科新里程项目

图 14-7　万科紫云家园项目

1. 装配整体式剪力墙结构的发展

（1）标准化的设计，使预制构件能大规模生产和运用，预制构件均考虑了模数协调设计，符合“少规格、多组合”的原则，减少了模板数量和种类，进一步节约了造价。

（2）外立面能够满足不同风格需求，实现多样化。

（3）系统应用楼梯、女儿墙以及阳台、空调板等预制构件。

2. 保温装饰一体化外墙

预制外墙为三明治式的构造，内侧是受力层，中间是带阻热性能的连接件，外侧是钢筋混凝土保护层，同时也是装饰层。

3. 一体化装修

建筑设计与装修紧密配合，构件制作充分考虑了机电管线、装饰装修、建筑产品和部件的安装等要求。

4. 施工工艺及工法体系的逐步完善

完善了模具体系和施工工艺等，形成了专用施工机具、工法和质量管理模式，实现了无外架施工，初步体现了工业化预制装配的特点，如图 14-8、图 14-9 所示。

图 14- 8　万科新里程项目无外架施工工地 1

图 14-9　万科新里程项目无外架施工工地 2

七、最高——北京住总万科金域华府和沈阳万科春河里工业化住宅

沈阳万科春河里是国内第一栋 100m 装配整体式剪力墙住宅，建筑高度 100m，31 层，总建筑面积 5 万 m^2，2010 年设计，如图 14-10 所示。

北京住总万科金域华府是国内 8 度抗震区第一栋 80m 装配整体式剪力墙住宅，建筑高度 80m，27 层，建筑面积 2 万 m^2，2013 年设计，如图 14-11 所示。

图 14-10　沈阳万科春河里工业化住宅

图 14-11　住总万科金域华府

八、规模——合肥蜀山装配式公租房项目

2013 年 5 月 24 日，北京市建筑设计研究院有限公司和中国建筑国际投资有限公司（简称中建 3311）在北京签署战略合作协议。双方决定利用 BIAD

建筑工业化的研究成果和经验，与中建 3311 在境外开展装配式建筑的经验相结合，共同推进内地的建筑工业化项目合作。双方合作取得了合肥蜀山产业园装配式公租房和合肥滨河润园等一批住宅产业化项目，如图 14-12，图 4-13 所示。这些项目规模都比较大，分别有 35 万 m^2 和 60 余万 m^2，是我这十年设计的最大规模装配式住宅，更具标准化、规模化的特征。从中可以总结出装配式建筑设计方法与传统建筑的不同之处：

（1）着眼高度不同：传统建筑设计之间是无关联的分散个体，装配式建筑设计，要服从于体系整体的宏大逻辑，个体设计与整个体系要共享设计方法、装配构件、标准模块、标准楼栋等。

（2）设计目标差异：装配式建筑项目不仅需要着眼功能和宜居，也需要关注设计对工厂化生产和装配式施工的影响。

（3）涉及阶段区别：装配式建筑项目由于构件工厂生产、现场装配的要求及内装装配化的要求，必须将设计向全过程延伸。在设计过程与结构、设备、电气、内装专业紧密沟通，实现全专业全过程的一体化设计。

（4）设计标准体系：装配式建筑更加需要建立一套相对完整的标准化设计体系。核心是标准化户型模块。应实现模块内部隔墙灵活分隔，使得功能

图 14-12　合肥蜀山产业园装配式公租房

图 14-13　合肥滨河润园项目

尺寸更合理，更符合内装设计、家具布置及人体工程学的原理。同时也要遵循模数原则和优先尺寸，为内装的标准化预留接口。

（5）平面组合多样：标准化套型模块能用于规划的前提是可以组合成板楼、塔楼、通廊式等多样化的住宅形式，为规划提供多样化的可能。

（6）系统集成设计：装配式住宅系统集成的设计已经成为一种发展趋势。

（7）户型优化原则：户型设计的本质是创造良好空间，提高居住品质。在装配式住宅户型设计中，客厅和居室等的开间和进深尺寸合理性是重点，设计要符合内装设计、家具布置及人体工程学的原理和要求。此外，厨房卫生间的标准化设计也是关键。

（8）立面墙层多样：标准化的设计限定了外墙的几何尺寸，但其色彩、光影、质感、纹理、组合及排列顺序都是可以编辑的“墙层”，以此构建多样化的立面形式。

（9）评价体系不同：装配式建筑更关注质量、成本、工期、效益与环保的综合评价。

九、整体解决方案——北京市装配式公租房标准化设计研究及应用

2012 年，北京市建筑设计研究院有限公司、北京市保障性住房建设投资中心、北京市政路桥控股集团三家拟联合成立“住宅产业化集团”，解决装配式结构保障性住房产品的研发设计和工程落地问题。为此，在北京市政路桥控股集团所属燕通公司院内设计建造了“北京市装配式公租房实验楼”，提出了北京市装配式公租房整体解决方案。方案从单元组合方案、套型设计方案、立面设计方案、技术体系构成四个方面着手整体设计。同时结合 BIM 信息化技术，研究搭建服务于装配式公租房产业链中上下游的投资、开发、施工、研究运维等信息交换平台，进而实现商品住宅产业化，以期实现住宅全产业链的信息平台支持，以“信息化”促进“产业化”。

项目取得了一些成果：

（1）提出了公租房 30/40/50/60 m^2 的标准套型模块，如图 14-14 所示。

（2）标准模块灵活，形成不同的组合平面，以适应不同规划要求。

（3）多样化的立面系统，适应不同的立面需求。

（4）形成了一套全专业（建筑、结构、机电设备、装修、绿色建筑），全过程（设计、生产、施工、运维）的整体解决方案。

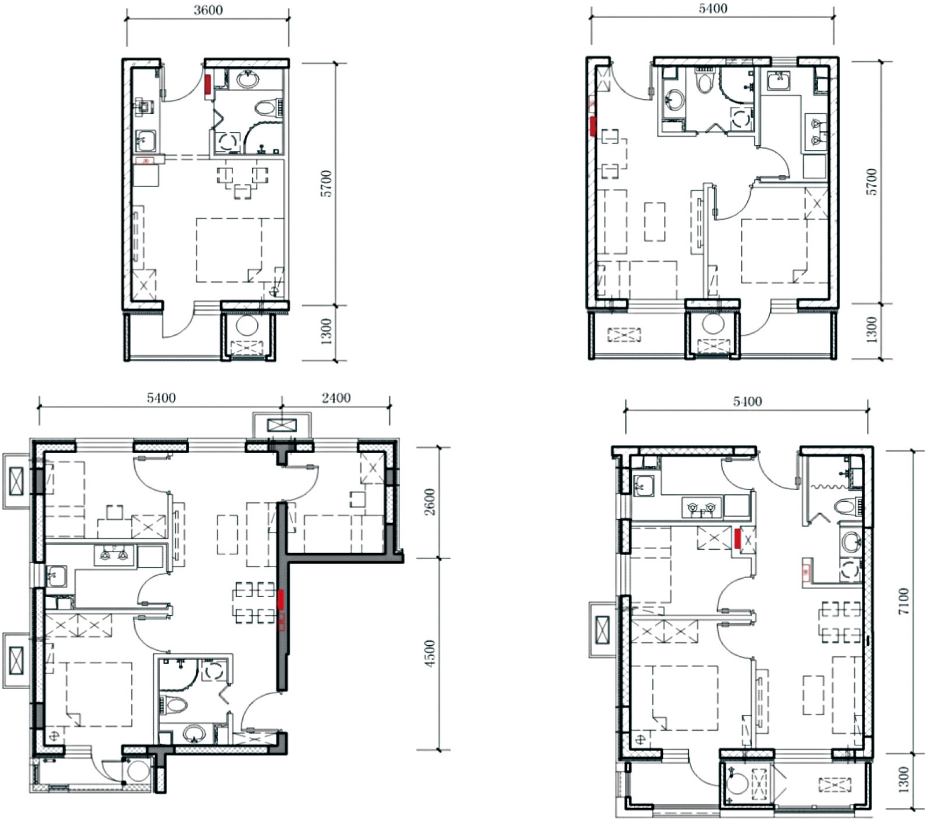


图 14-14　公租房实验楼设计的 4 种标准套型模块

（5）BIM 技术应用，① BIM 构件库：将数据信息导入构件族文件，再将具有参数信息的构件拼装组成 BIM 模型；②基于 BIM 的工程量计算；③ BIM 碰撞检测；④生产和施工过程的 BIM 模拟；⑤ BIM 自动生成材料清单。
（6）成果应用范围较为广泛，当前正在实施的通州台湖公租房、百子湾公租房等项目都应用了本项目成果。

本项目两大遗憾：一是由于工作调动，没有亲自参加到北京市后续的装配式公租房实践中；二是 BIM 没有在全产业链真正应用。

十、被动式 + ——山东建筑大学教学实验综合楼

2015 年 12 月开始接触山东建筑大学教学实验综合楼被动式超低能耗实验楼工程的 EPC 工程总承包任务。作为装配式建筑深化设计和被动房专项设计的总负责人主持了设计落地及优化工作，在项目团队的紧密协作下，以全过程总承包的模式完成了这个国内首个钢结构装配式的被动式建筑，如图 14-15 所示。

图 14-15　山东建筑大学教学实验综合楼

本项目是国内第一栋装配式钢结构超低能耗被动式建筑，建筑高度 24m，6 层，建筑面积 6000 m^2，2015 年设计，如图 14-16 所示。

图 14-16　山东建筑大学教学实验综合楼

项目采用了“系统集成”的设计，集成技术创新点有：

（1）装配式钢结构系统：采用高强螺栓连接的钢框架结构体系。

（2）预制叠合板楼面系统：叠合楼板与钢梁共同形成钢和混凝土组合楼盖。

（3）蒸压加气混凝土高性能复合保温外墙系统：围护系统的保温性和气密性是被动式建筑的关键指标。项目从十几个方案中选用了性价比较优，节点简单易行的蒸压加气混凝土 + 高性能外保温外墙系统。该系统由 200mm 厚蒸压加气混凝土条板，内嵌安装；外覆 200mm 厚石墨聚苯板保温层；室内侧采用了围护内装一体化的气密层做法。实现了外墙的传热系数为 0.14W/（m^2 · K），和气密性指标 N50 ≤ 0.6 次 / 小时的设计目标。

（4）内嵌式高效被动房门窗系统：被动式超低能耗建筑外门窗重量较大，直接安装在加气混凝土条板上容易造成节点的破坏，故创新设计内嵌式外窗。

（5）外遮阳系统：西侧外窗外侧设计了电动百叶遮阳，以降低夏季西晒对室内舒适性的负面影响及制冷负荷。
（6）被动式建筑屋面系统：实现屋面的传热系数为 0.14W/（m^2·K）。
（7）被动式建筑地面系统：被动房系统中，地面的保温、防水、气密性等性能非常重要，本系统增加了高性能的保温及隔气层构造做法。
（8）辅助供冷供热与换热新风系统：设若干内冷式双冷源新风机组，机组自带板式热回收，热回收效率不小于 75%。
（9）室内空气监测及智能化控制系统：换热新风系统设电动调节阀，与各个监测点位的室内空气监测设备联动，实现空气质量的智能化监控。

除此之外，我们还对原设计与装配式钢结构及被动房要求不匹配的建筑平面、标准节点、管线集成、内装集成等进行了系统性的优化。

十一、新篇——深圳裕璟幸福家园项目

2015 年 8 月我调入中国建筑集团公司下属的中建科技有限公司，开始以一个执业建筑师的身份，“跨界” 装配式建筑 EPC 工程总承包和数字营造，并尝试将设计、采购、生产、施工、管理融合为一体的新探索。

裕璟幸福家园工程总承包项目是华南地区第一栋装配式剪力墙结构住宅。建筑高度 100m，33 层，总建筑面积 6.4 万 m^2，2016 年设计，如图 14-17 所示。

结合该项目实践，我们创新了以下典型成果：

（1）将装配式剪力墙结构住宅体系移植到深圳，并成功落地。
（2）成功地探索并推出了“REMPC”的一体化建造模式。

图 14-17　裕璟幸福家园项目

（3）提出并实践了“设计、生产、施工一体化、建筑、结构、机电、内装一体化和技术、管理、市场一体化的三个一体化发展方式”。

（4）提出并实践了装配式建筑“全员、全过程、全专业”的 BIM 应用规则，构建了“一体化协同工作平台”。

（5）创新了“中建科技装配式建筑智能建造平台”，以“装配式 + 智能化”，全面对接“中国制造 2025”对建筑业发展的新要求。

本项目经过团队共同努力，获得了深圳市建筑工务署 2017 年全年的质量安全双第一，成功迎来了住建部 2017 年 11 月份组织的“全国装配式建筑质量提升现场交流会”，开创了华南地区装配式建筑高质量发展的新篇章。

○ 第十五讲

实践之一——万科假日风景住宅工业化技术运用

我国每年住宅建设新开工面积占到世界总量的 50% 左右，而建筑能耗占到中国全社会能耗总量的 40%。要实现节能减排的目标，必须依靠科技进步和技术创新，提高住宅产业的集约化程度，促进住宅建设整体水平提高。在此大背景下，万科集团开始在全国推行工业化住宅建设试点工作。中粮万科假日风景项目 B3#、B4# 楼作为北京的第一个试点项目，开始于 2007 年底，竣工于 2009 年底，历时两年的研发、设计和工地服务，我们有幸作为设计方参与了整个创新设计的过程，如图 15-1 所示。

图 15-1 B3#、B4# 工业化住宅建成实景

“中粮万科假日风景 B3#、B4# 楼”，位于北京市丰台区卢沟桥乡，地上 15 层，地下 1 层，总建筑面积约 8100m²。该工程作为“北京市住宅产业化试点工程”，采用了“装配整体式剪力墙结构”等产业化住宅新技术。在免维护外墙保温体系、外窗精确安装工艺、防渗漏体系、预制楼梯、全面家居解决方案、提高工程建造效率、节能降耗成效等方面，站在学科前沿，引领了本市“住宅产业化”工程项目的设计研究及运用，得到业内的高度关注和广泛赞誉，如图 15-2~ 图 15-4 所示。为了有别于北京 20 世纪大规模运用的“预制大板住宅”，本讲将采用此项技术的建筑谓之为“新预制装配住宅”，以下简要归纳介绍该建筑几项新的建筑技术运用。

图 15-2　B3# 工业化住宅南立面局部

图 15-3 B3# 楼北立面

图 15-4 工业化住宅单元平面

一、装配整体式剪力墙结构预制外墙技术

本技术是将预制构件（主要是大部分外墙）与现浇部分有效连接起来，等同于现浇的工作原理。在本工程中，主要南北外墙为预制的混凝土墙板，通过在水平和垂直方向节点部位外伸钢筋的有效连接，（主要采用了钢筋的胶锚方式，和暗柱现浇的方式），使之与现场浇筑的混凝土墙连成一体。预制的混凝土墙体采用了预制夹心复合外墙板，承重、保温、装饰一体，统一在工厂预制完成。通过工厂化预制，减少了混凝土的现场浇筑量，节约能源资源，减少人工投入，缩短施工周期，提高劳动效率，优化施工质量，利于使用维护；提高了施工精度，为各建筑部品部件的产业化运用创造条件；并提高了建筑的保温、隔热、安全、防火、防水等性能，如图 15-5~ 图 15-7 所示。

图 15-5　预制外墙板由构件厂运输至工地

图 15-6　预制墙板现场吊装

图 15-7　预制墙板现场固定

二、外窗精确安装工艺及防渗漏技术

由于工厂化预制的外墙板精度极高，其误差能控制在 2mm 以内，因此外墙上的窗洞尺寸施工误差很小，这就解决了传统现浇混凝土结构人工现场施工误差过大无法与工厂生产的门窗匹配的问题，工程真正实现了统一规格的外窗批量工厂化生产并精确安装，预制构件与外窗紧密结合，保证了外窗仅仅依靠硅酮胶一道材料防水，就满足了气密性和防渗漏要求，如图 15-8、图 15-9 所示。

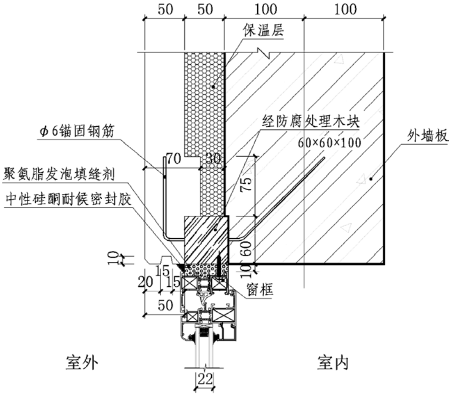


图 15-8　预制墙板窗上口节点

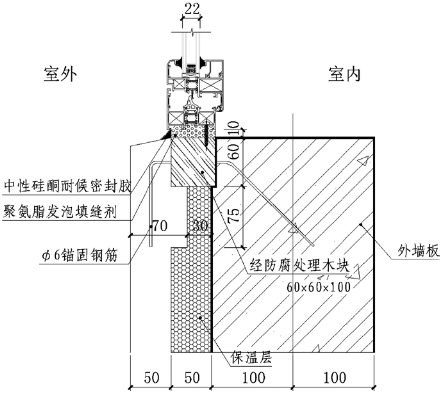


图 15-9　预制墙板窗下口节点

三、外墙防水构造

预制外墙的防水非常重要，北京 20 世纪 90 年代初大板住宅突然退出，其重要原因就是外墙漏水。本工程对板缝等处采取了基于先进材料和施工工艺的外墙防水构造。水平缝采用了“反槛构造放水、空腔构造防水和硅酮胶材料防水”三道防水，垂直缝采用了“现浇钢筋混凝土结构自防水、空腔构造防水和硅酮胶材料防水”三道防水，外墙防水性能优异，如图 15-10、图 15-11 所示。

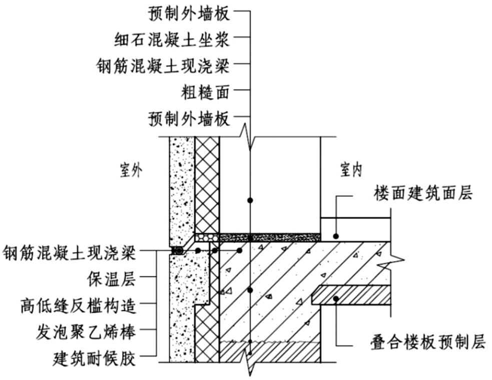


图 15-10　外墙水平缝防水构造

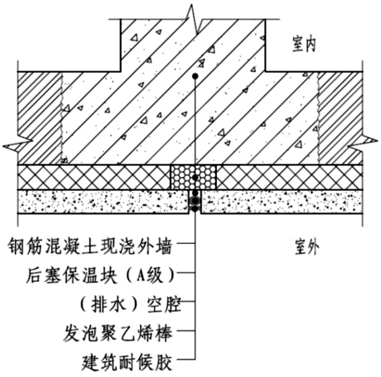


图 15-11　外墙垂直缝防水构造

四、外墙外保温防火构造

近年国内采用外墙外保温的建筑火灾案例高发，尤其是央视大楼大火和上海 11.15 高层公寓火灾惨剧使得举国震惊，凸现了外墙外保温防火问题的重要性和紧迫性。本工程预制外墙是“三明治式的复合保温外墙”，内侧为结构主体的承重墙，中间为 70 厚的保温层，外侧为 50 厚混凝土保护层，满足 1 小时耐火极限的要求。防火的关键在于板缝及门窗洞口，设计在板缝空腔部位设置防火阻燃材料，沿门窗洞口设岩棉板保温防火隔离带。

五、预制楼梯

现浇楼梯是现浇钢筋混凝土结构中工艺较为复杂、质量较不稳定、成品保护较为困难的建筑部位，采用预制楼梯能规避其上述弊端，充分发挥工厂化预制的优势，提高劳动生产率，提高施工质量。本工程休息平台为现浇，预留连接件，每一梯跑为一个预制构件，在预制构件上预留扶手栏杆的安

图 15-12　预制楼梯吊装

装接口，如图 15-12 所示。

六、全面家居解决方案

精装修是产业化住宅的基本要求，也是住宅产业化研究的重点，B3B4# 工业化住宅在装修设计中采用了“全面家居解决方案”，其主要内容为：①配合精装的水电设备点位一次预留到位；②整体厨房及关键厨房电器（如灶具、油烟机等）统一配置；③整体卫生间及卫浴设备的统一配置；④家庭收纳系统的统一配置，重点考虑了玄关柜、卧室柜、橱柜、卫浴柜的细化功能；⑤固定家具的工厂预制化程度高，减少现场作业和环境污染，如图 15-13~ 图 15-19 所示。

图 15-13　交房标准

图 15-14　样板间客厅 1

图 15-15　样板间客厅 2

图 15-16　样板间主卧

图 15-17　样板间次卧

图 15-18　样板间厨房

图 15-19　样板间卫生间

七、装配式建筑技术的持续改进要点

装配式建筑技术在系统性、集成化、标准化等方面还要有更加全面的发展，概括起来应该在以下几个方面持续改进：

（1）系统地采用混凝土预制构件，包括预制墙板(外墙、内墙)、叠合楼板、预制楼梯、预制空调板、预制女儿墙、非承重建筑分隔墙板等。建筑内隔墙采用轻质高强内隔墙板，相互间形成完整的建筑系统。

（2）预制构件(墙板、楼板)设计均符合模数协调的设计原则；符合“少规格、多组合”设计原则。

（3） 结构预制率达到 50% 以上，结构外墙基本上实现了全装配化，从根本上改变建造方式和施工组织形式。

（4） 通过设计优化，使现浇墙体可以采用少规格的定型模板和组合模板进行施工，为提高居住建筑的质量和品质、缩短施工周期创造了条件。

（5） 建筑设计与装修设计相互配合，使得预制构件的制作充分考虑了机电管线、装饰装修、建筑产品和部件的安装等要求，为缩短后期装修的工期、提高建筑质量提供条件。

（6） 厨房、卫生间采用叠合楼板，不但能减小结构预留管道洞的尺寸，同时提高了机电安装的精度，降低了发生渗漏的可能性。

（7）逐步提升产业配套水平，实现以结构体系和机电设备精装修体系之间的分离，也就是大家常说的 SI 分离，从根本上解决产业化住宅建筑系统的整体解决方案和功能要素的产业化整合。

○ 第十六讲 实践之二——塑造装配清水

2007 ~2009 年，我们设计并建成了中粮万科假日风景项目 B3#、B4# 工业化住宅楼，该工程作为“北京市住宅产业化试点工程”，采用了“装配整体式剪力墙结构”等工业化住宅新技术。在免维护外墙保温体系、外窗精确安装工艺、外墙防水、预制楼梯、全面家居解决方案、提高建造效率、节能降耗等方面，站在学科前沿，引领了本市“住宅产业化”工程项目的设计研究及运用，得到业内的高度关注和广泛赞誉。开启了“新预制装配住宅”的新时代。2009 ~2011 年，在总结和归纳 B3#、B4# 工业化住宅设计和建造经验的基础上，我们又设计了中粮万科假日风景项目 D1#、D8# 工业化住宅楼。项目位于北京市丰台区卢沟桥乡，地上 15 层，地下 1 层，总建筑面积约 30000m^2。该工程优化并初步形成了“装配整体式剪力墙结构体系”。继

图 16-1　总平面图

图 16-2　内院西南侧建成实景

续改进和完善保温装饰承重一体化外墙；外窗精确化安装工艺；外墙防水工艺；预制楼梯、预制阳台和预制空调板；精装修全面家居解决方案等成熟做法，推进了预制装配技术的创新及进步，如图 16-1、图 16-2 所示。

一、中粮万科假日风景 D1#、D8# 工业化住宅的发展和技术创新

1. 装配整体式剪力墙结构的发展

在 D1#、D8# 工业化住宅的设计实践中，初步建立了“装配整体式剪力墙结构体系”。这种结构体系是指预制的或部分预制的混凝土墙板，通过在水平和垂直方向节点部位外伸钢筋的有效连接，如钢筋的灌浆套筒和现场浇筑的混凝土等方式，使之与所有剪力墙共同工作而形成的剪力墙结构。与 B3#、B4# 住宅相比，主要进步有：

（1）B3#、B4# 采用的预制墙板是不参与抗震的，通过工程实践的检验和实验研究，在本工程中，预制外墙参

与了抗震计算。

（2）预制构件（墙板、楼板）设计均考虑了模数协调设计，符合“少规格、多组合”的设计原则，减少了模板数量和种类，节约造价。

（3）外墙预制结合门窗、防水、保温、装饰等形成了较为独立完整的“系统”，如图 16-3 所示。

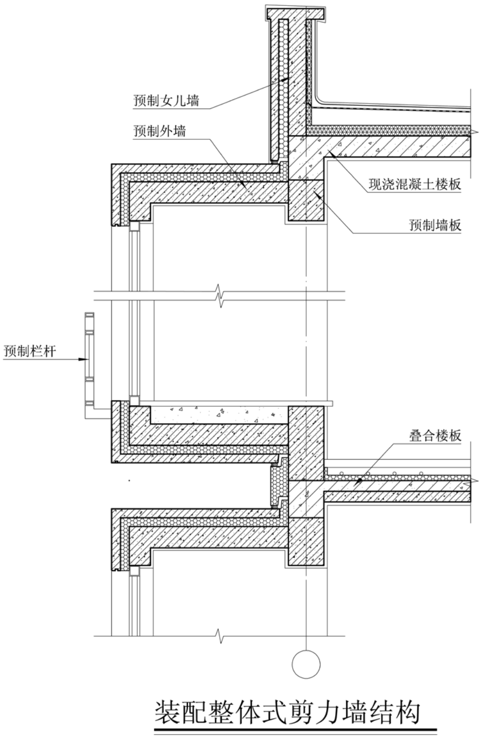


图 16-3　典型外墙大样

2. 保温装饰一体化外墙

预制外墙为三明治式的构造，内侧是受力层，中间是带阻热性能的玻璃纤维连接件，外层是 50 厚保护层，同时也是装饰层，可以有各种表现手段。比如 B3#、B4# 住宅中采用了瓷砖反打的工艺，而 D1#、D8# 住宅则采用了清水混凝土的外饰面，如图 16-4 所示。

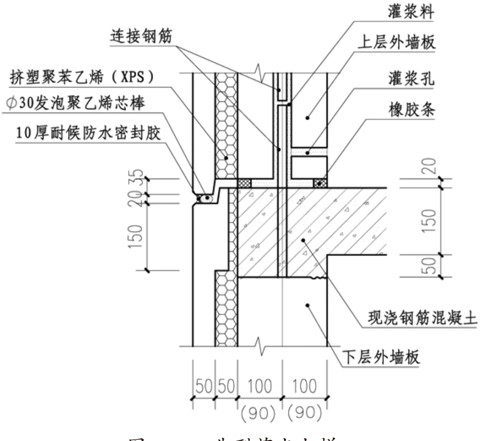


图 16-4　典型节点大样 1

3. 外墙防水工艺

D1#、D8# 住宅仍然沿用了三道防水的构造工艺：

（1）自防水：现浇混凝土浇筑，结构自防水。

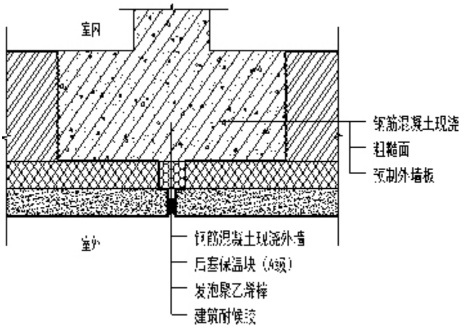


图 16-5 典型节点大样 2

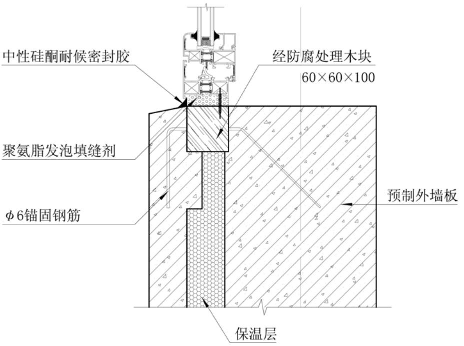


图 16-6 典型外窗节点

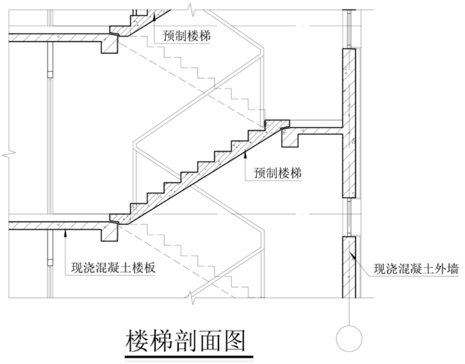


图 16-7 预制楼梯剖面示意

（2）构造防水：水平缝反槛构造，竖缝空腔防水，防止水流入或渗入。

（3）材料防水：外墙缝均用“改良硅酮胶”做材料防水。如图 16-5 所示。

局部还采用了“自粘防水胶带”，以增强薄弱部位的防水保护。

4. 外门窗装配及防水工艺

工厂制造的预制混凝土外墙板，其门窗洞口误差很小，与工厂制造的保温隔热外窗能精确搭配安装、严丝合缝、工艺简单，解决了外窗渗漏的问题，如图 16-6 所示。

5. 预制楼梯

混凝土楼梯现场浇筑是工程质量通病和短板，清水混凝土预制楼梯，特别能体现出工厂化预制的便捷、高效、优质、节约的特点。本工程全面运用了预制楼梯，提高了生产效率，降低了工程成本，突出体现了预制装配的优势，如图 16-7 所示。

6. 预制阳台和空调板

阳台和空调板的部品部件及各类管线较多，在现场浇筑工艺中也较为复杂，其预制阳台和预制空调板也能充分体现工业化生产的优势，提高施工质量和效率，如图 16-8 所示。

图 16-8　预制阳台细部

7. 精装修的配置标准及设计配合

D1#、D8# 工业化住宅实现了如下几点：

（1）整体厨房及关键厨房电器（如灶具、油烟机等）统一配置。
（2）整体卫生间及卫浴设备的统一配置。
（3）家庭收纳系统的统一配置。
（4）固定家具工厂预制，提升品质并减少现场作业和污染。
（5）地板和门等大宗精装部品的统一配置和装配化施工。
（6）配合精装的水电设备点位一次预留到位，结构专业在预制构件图中做好预留预埋的设计。

总体而言，精装修的装配化施工要求建筑设计与装修设计相互配合，使得预制构件的制作充分考虑了机电管线、装饰装修、建筑产品和部件的安装等要求，为缩短后期装修工期、提高建筑质量提供了条件，如图 16-9 所示。

图 16-9　户型平面

8. 施工体系的逐步完善

结合施工需要，逐步完善了模具体系和施工工艺配套等措施，形成了专用施工机具、工法和质量管理模式，初步体现了工业化预制装配的特点。

9. 太阳能生活热水系统

本项目采用太阳能集中集热—分散蓄 / 供热式生活热水系统，每单元为一个系统。系统集热循环采用强制循环，上部设缓冲水箱，该系统将太阳能集热器列阵集中设置于建筑屋面朝南放置，太阳集热器收集太阳热量后，由水泵输送至用户蓄热水箱内的热交换器，对蓄热水箱内的冷水进行加热。户用蓄热水箱（内置热交换器及辅助电加热器）放置于各户卫生间内。使用时，用户开启用水点即可使用。当太阳能不能满足室内使用要求时，启动户内蓄热水箱辅助电加热设备，以此保证住户生活热水的使用需要。

二、中粮万科假日风景 D1$^{\#}$、D8$^{\#}$ 工业化住宅的形式创新

形式上主要体现出“塑造、装配、清水”三个方面的特征，如图 16-10 所示。

首先，在建筑形式上重点体现“塑造”的理念。由于主要的外墙墙体在工厂预制完成，而工厂预制的过程主要由模具加工、钢筋加工、混凝土浇筑和脱模整理养护等几大工艺组成，这种工艺尤其体现了混凝土材料的可塑性特征。设计通过对预制外墙构件的拆分、组合，将立面划分为预制外墙、阳台挂板和金属部品三个部分。预制外墙是结构的一部分，灵活度较差，从而形成了整体的凹凸关系，是立面形式的基础。阳台挂板和金属部品配置的灵活性较高，可以用它们搭配整体的需要。南立面全部用预制装配的方式构成，形式上凸显 “浇筑”和 “塑造”的特征，如图 16-11 所示。

图 16-10　从内院看 D1$^{\#}$、D8$^{\#}$ 住宅

图 16-11　南侧院内实景

其次，立面构成追求强烈的“装配”感。工业化建造的关键在“装配”，相比 2009 年建成的 B3#、B4# 工业化住宅，本工程较为系统地采用了更多的混凝土预制构件，包括预制外墙板、叠合楼板、预制楼梯、预制空调板等，同时还有工厂预制的空调格栅和阳台栏杆等金属部品，它们都是通过预留孔洞或连接件的方式与混凝土构件装配在一起的。立面设计上顺其自然地让这种“装配”的特点得以展现，如图 16-12、图 16-13 所示。

第三，充分发挥清水混凝土的建筑表现力。工厂预制的清水混凝土构件有光洁的表面、精确的几何尺寸、可塑的造型特性和不同材料部品间连接的便利性。本工程采用了混凝土的“清水”表现形式，在构件的“重复”中寻求材料新的表现力和形式美，尤其是利用混凝土“浇铸”出呈浮雕状的阳台挂板构件，与金属部品的“回字纹”共同“塑造”了虚实相映、细部

图 16-12　建筑细部 1

图 16-13　建筑细部 2

丰富、光影变幻的建筑立面，暗示了“现代简约”框架下的“中国传统”，如图 16-14~ 图 16-19 所示。

图 16-14　建筑细部 3

图 16-15　建筑细部 4

图 16-16　预制阳台细部

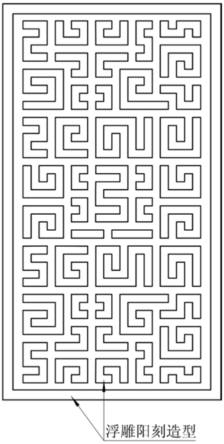


图 16-17　预制阳台浮雕板设计图

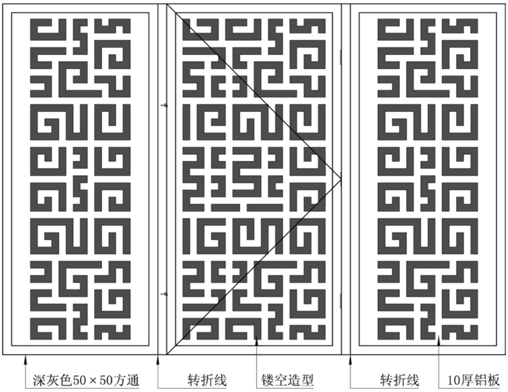


图 16-18　镂空空调百叶设计图

图 16-19　内院东南侧建成实景

○ 第十七讲　实践之三——公租房的『实惠』设计

2010 年以来，随着公共租赁住房在中国“保民生”的公共住房体系中重要战略地位的确立，全国各地掀起了公租房建设热潮。笔者参与其中，关于在设计中如何“让老百姓得实惠”，有些心得体会，特撰此文与大家分享。

一、推敲日照、通风、采光均好的优质户型

北京市半步桥公租房的总体规划布局充分利用基地条件，为大多数的住户提供了南向户型，而且所有户型均保证两个方向的朝向，满足了日照、采光和通风的需求，如图 17-1、图 17-2 所示。

图 17-1　半步桥公租房总平面图

图 17-2　半步桥公租房建成实景

二、采用大空间的结构体系，方便内部空间的灵活使用

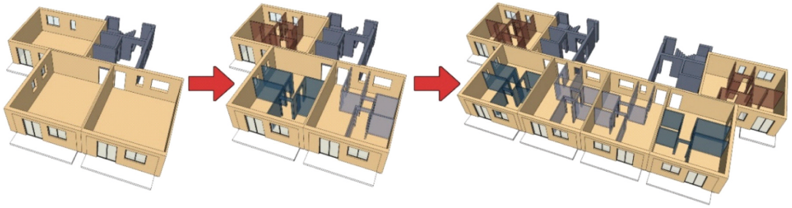
公租房设计应该从单纯关注户型转向兼顾户型和结构空间的灵活性。公租房作为公共住房，居住对象变动比较频繁，同时随着生活水平的提高，住户的居住需求也会发生变化。过小的结构空间和过于强调对当前居住要求或某些规范条款的满足，不注重未来的适应性，无论对租住方还是管理运营及投资方都是不实惠的。

半步桥公租房项目采用了 6 m × 7.9m 的结构单元，控制建筑面积在 $60m^2$ 以下，并提供了 3 种布局模块以适应不同的平面组合需求，如图 17-3、图 17-4 所示。

在 30 m^2 户型中，要避免单开间户型采用同一个结构空间，宜将两个或多个结构开间设计成未来可改的大开间结构，并创造条件保证其二合一后面积满足 60 m^2 以下的规定，如图 17-5 所示。

A 户型平面图　　B 户型平面图　　C 户型平面图

图 17-3　三种标准套型模块平面图



标准户型模块拼接　　内部隔墙区分不同户型　　各户型相互结合形成整体单元

图 17-4　套型模块组合关系

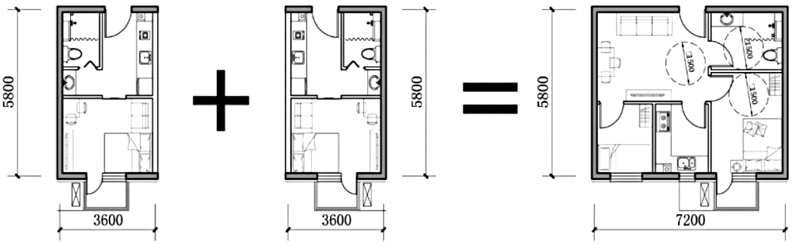


图 17-5　考虑两个套型模块灵活组合的结构大空间设计

40 m^2 左右的公租房则采用了 5.8 m × 5.8 m 的结构空间，有利于形成南向两个房间的布置，其空间的适应性明显比小面宽的结构方式要好，具有更多种的变化可能，如图 17-6 所示。

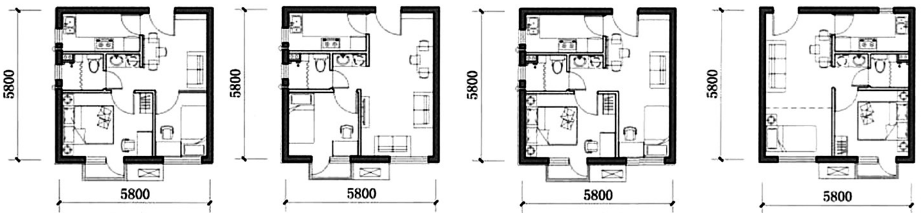


图 17-6　公租房 40m² 套型合理开间对比研究

三、科学确立结构空间的长宽比，提高空间的使用效率

在上述结构空间单元研究中，我们发现在公租房的规定面积条件下，存在着面积、适宜面宽和各功能空间最小尺寸之间的数学联系：

根据住宅面积计算公式“套型建筑面积（S）= 使用面积之和（A）/ 比值（K）+ 阳台面积（X）”推导出“A=（S−X）×K”，假设 K=70%，阳台面积按 1 m^2 计，当建筑面积为 30 m^2 时，A=（30−1）×70%=20.3 m。

根据基准净面宽 =1500 mm（卫生间净宽）+100 mm（隔墙厚）+1200mm（通道兼操作空间）+600 mm（台面宽）=3400 mm，其基准净进深 = 20.3/3.4=5.9 m。

依据居住功能考虑，基准进深 =500 mm（床头柜）+1500 mm（床）+1500 mm（双人沙发）+100 mm（隔墙厚）+2200 mm（卫生间）=5800 mm。

基于上述功能、面积的关系分析，30 m^2 户型公租房适宜的结构空间的基准尺度为 3.6 m × 6.0 m。

同理，也能推导出 40 m^2 左右户型适宜的结构空间面宽范围是 5.4~5.8 m，

进深范围是 5.7m 左右；50 m^2 左右户型适宜的结构空间面宽范围是 5.4~5.8m，进深范围是 7.2~5.7m；60 m^2 以下公租房可在 50m^2 左右户型基础上通过增加功能间实现面积和功能的整合。这样形成的标准模块空间具有如下特点，如图 17-7 所示：

其一，单开间的厅室合一户有条件合并成两开间的 60 m^2 两室一厅户。

其二，40 m^2、50 m^2 左右和 60 m^2 以下的户型均能保证在主要朝向上有两个房间的采光面，便于空间的灵活布局。

其三，套型组合采用单元式与外廊结合的方式，有多种组合的可能。

其四，结构空间适应性广，提供多种空间布局可能。

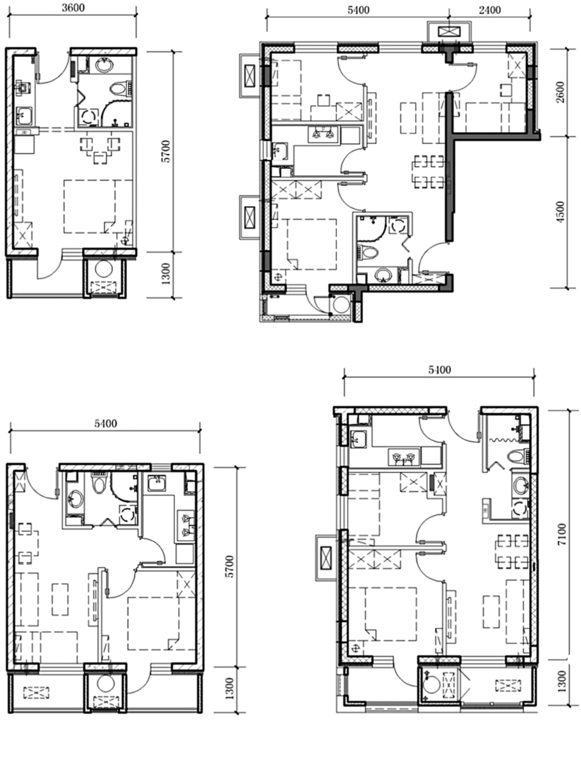


图 17-7　各种面积套型空间研究

四、套内尽量减少走道空间或尽量让走道空间多用途使用

图 17-8 所示此套型仅入口就占了 2.2 m^2 的空间，客厅和主卧之间也有较明显的走道空间浪费，建筑面积虽有 50 m^2，但空间利用率并不高，因此套内空间划分时应尽量减少单纯的走道空间。

图 17-9 所示套型分离式卫浴洗漱空间兼作卧室入口，提高空间使用效率。入口空间适当扩大，可兼作餐厅、收纳之用。

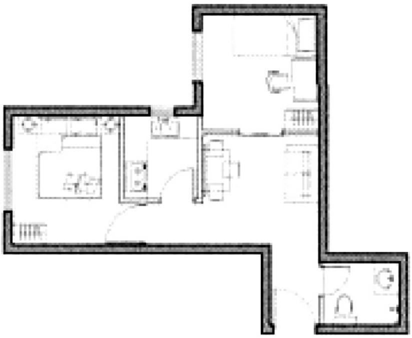


图 17-8 浪费空间案例

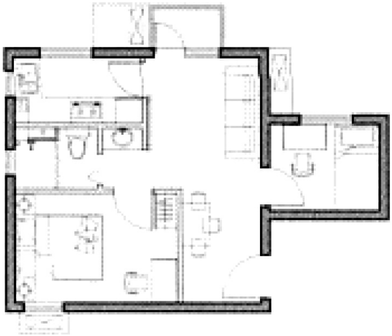


图 17-9 空间利用优劣比较

五、合理设计公共空间，提高得房率

住宅建筑的楼梯、电梯、管井和公共走道等构成的核心筒面积是相对固定的，而公租房由于套内使用面积较小，单位面积所负担的公共空间面积分摊较传统大户型多。因此对于公租房设计，节约公摊面积尤其重要。

北京市半步桥公租房 23 层，单元式布局，在 12 层和 18 层及以上的楼层以外廊连通，同时将公共管井平行公共走道布局，相对于垂直布局减少了管

井内检修空间及公摊面积，得房率高达 74%。

六、统筹户型设计与工程建设的矛盾，优化经济性

公租房设计要满足建筑功能需求，很多建筑师理解所谓的“功能”就是户型合理、套内空间舒适。在近些年商品住宅设计中，建筑技术日臻成熟，解除了原本很多对设计的束缚，创作的自由和开发商的逐利模式催生了过度“户型至上”的价值观；对规范的字面上的肤浅遵从使设计缺乏客观和务实的判断基础；轻视、忽略结构和工程合理性的现象较普遍。公租房设计事关民生大计，百姓的实惠应该得到重视，应该将空间适用、节能环保、通风采光、结构合理和安全等方面的“建筑功能”放在同等重要的地位统筹考虑。

两个南向 60 m^2 户型都实现了两卧 + 起居 + 餐厅的使用功能，面宽均为 7 m。一个通过深凹缝和阳台间接采光，效果有待商榷；而另一个结构规整，从体形系数、节能环保效果以及空间的灵活性和适应性等各方面考虑，都更为可取，如图 17-10 所示。

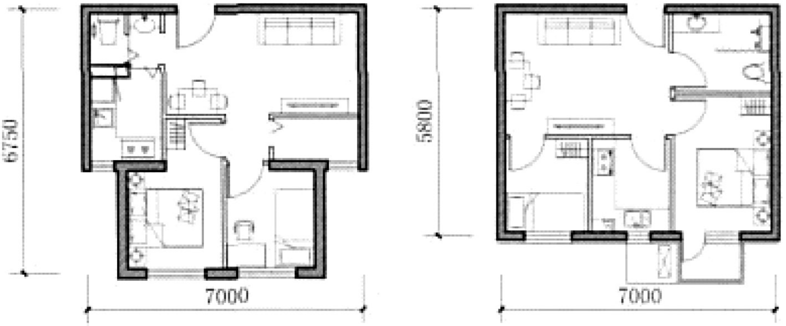


图 17-10　南向 60 户型对比

图 17-11　半步桥公租房南侧实景

图 17-12　装配式阳台细部

七、采用产业化建造方式

公租房具有政府主导、规模巨大、标准统一等特点，对质量控制、精装配置和后期维护的要求也较高，适宜采取结构预制、精装工厂化等工业化建造方式建设。北京市半步桥公租房项目就采用了“装配整体式剪力墙结构”和“工厂化精装”等产业化住宅新技术。

遗憾的是同期建设的西红门公租房由于各种原因未采用。从工程的实施数据来看，在同比工程量的施工速度上，实施工业化的楼栋为一栋，建筑面积 7.8 万 m^2，共计 23 层，楼高 64m，比西红门规模相近项目的工期提前了 50 天左右。现场湿作业减少，用水量减少了 10%，材料节约了 10%，同时施工噪声和建筑垃圾大大减少，实现了节约材料、降低能耗、缩短施工周期、提高产品质量等目标，使公租房建设走上绿色产业化之路，如图 17-11~ 图 17-13 所示。

图 17-13　半步桥公租房北侧实景

在遵守国家公租房政策要求的前提下，我们设计的公租房能提供 30 m^2 以下的单居户型（起居和卧室合一，并有合并成 60 m^2 以下的两室一厅户型的可能）、40 m^2 左右的一室半户型（一室一厅，厅里设张单人床）、50 m^2 左右的两室一厅户型、60 m^2 以下的两室两厅舒适户型或三室一厅户型，空间灵活、户户朝阳，并采用了一些工业化住宅新技术，对居住者来讲是比较实惠的，如图 17-14、图 17-15 所示。

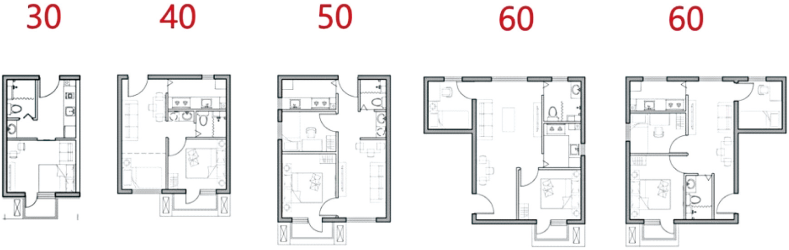


图 17-14　30m^2、40m^2、50m^2、60m^2 户型示意图

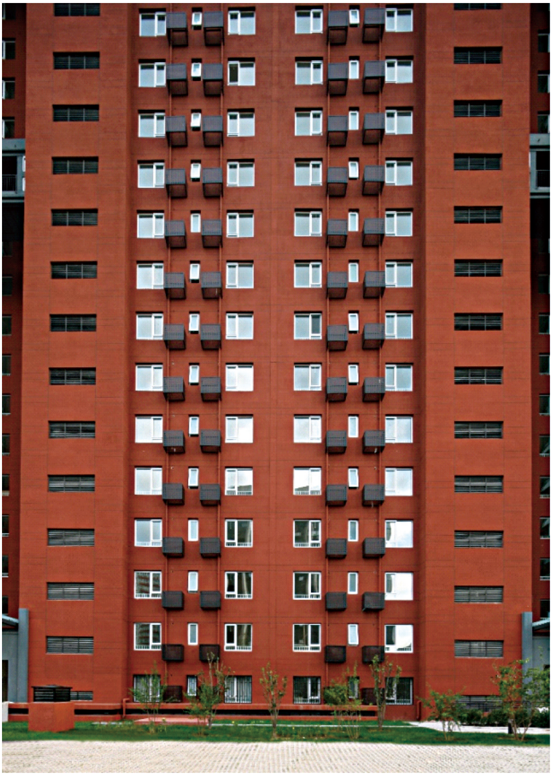


图 17-15　半步桥公租房建成实景 2

○ 第十八讲 实践之四——设计统筹在工程总承包项目中的实践应用

深圳裕璟幸福家园位于深圳市坪山区，共 3 栋塔楼，建筑高度 95.9m，总建筑面积 64050m^2。是《深圳市保障性住房标准化图集》的首个落地项目，是深圳市住房和建设局实施的第一个 EPC 总承包的装配式保障性住房试点项目，也是深圳乃至华南地区的首个装配式剪力墙结构住宅，由深圳市建筑工务署住宅工程管理站实施建设管理，如图 18-1、图 18-2 所示。

该项目从投标阶段就引入了 EPC 工程总承包管理理念，投标书的技术部分如施工部署及计划等全部采用了 BIM 手段，如图 18-3~ 图 18-6 所示。

图 18-1　深圳裕璟幸福家园鸟瞰图

图 18-2　深圳裕璟幸福家园效果图

图 18-3　基础及地下室施工阶段 BIM 模拟

图 18-4　地上结构施工阶段 BIM 模拟

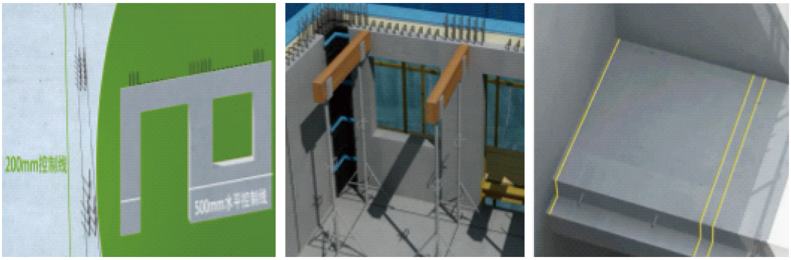


图 18-5　标准层装配式技术策划 BIM 模拟

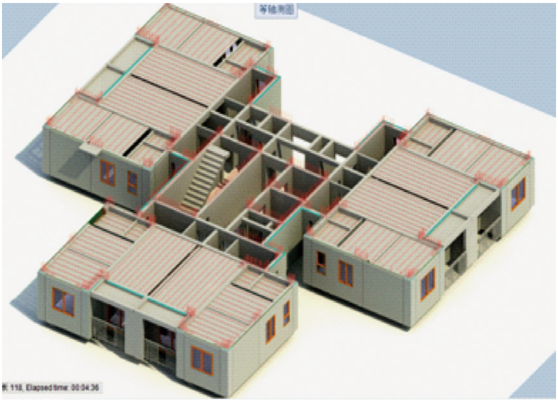


图 18-6 装配式工艺工法 BIM 模拟

本项目最具挑战的，是在 EPC 工程总承包项目中如何做好设计统筹。首先要明确什么是“设计统筹”？设计统筹应该是一种方法，通过这种方法可以让 EPC 工程总承包的工作做得更好。也是一个定位，可以明确地确定设计在整个工程中应该做什么，不该做什么。还是一种管理，就是通过设计如何管理好裕璟幸福家园项目。

2016 年中国建筑股份有限公司承担了国家重点研发计划项目“工业化建筑设计关键技术研究”，该项目是国家十三五重点研发计划“绿色建筑与建筑工业化”专项中的一个重点项目。该项目任务也需要回答同样的问题——在建筑工业化工程实践中，什么是正确的设计方法？设计在其中起到怎样的作用？这些结构、围护、机电、内装等关键技术需要怎样的方法论才能在设计中得到落地？

结合裕璟项目和过去我们的相关研究，我们认为，装配式建筑有很多优点，没有得到很好发展的原因，是各种技术要素处于碎片化、割裂的状态，缺乏系统性。需要用“系统工程”的理论和方法来集成和融合这些要素。

而传统的建筑设计，在工程设计阶段，大部分是为满足规范而设计。也就是说，在旧的生产关系下，设计的目的，大多只是为了满足工程设计的最基本要求——满足规范，通过外审，完成任务，如图 18-7 所示。

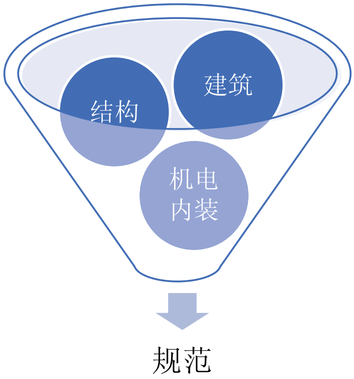


图 18-7　工程设计最基本的要求

而真正服务于工程，真正提高工程质量和性能的更高要求，却没有相关的实现机制。离工程设计服务于工程建造过程的“初心”，渐行渐远，如图 18-8 所示。

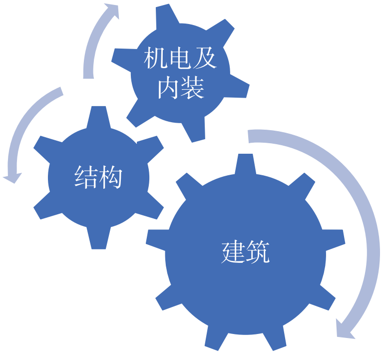


图 18-8　为建造而设计的要求

叶浩文先生在论述装配式建筑发展问题时，提出了“三个一体化”的发展路径：“设计、生产和施工的一体化；建筑、结构、机电、内装一体化和技术、管理和市场一体化”。其中的“设计、生产和施工的一体化；建筑、结构、机电、内装一体化”这两个一体化是装配式建筑设计要解决的关键问题。而技术、管理和市场一体化的问题，其实质就是统筹问题，管理问题。

因此，要做好装配式建筑的设计统筹，需要建立“建筑系统”“集成设计”的理论和方法。装配式建筑是一个建筑系统，它包括建筑围护系统、结构系统、机电系统和内装系统等子系统工程。设计统筹就是将其进行一体化整合的过程，而我们需要研究的若干工业化建筑设计的关键技术，他们都分属于不同的子系统，我们将其在各个子系统范畴加以研究，然后通过系统集成设计方法和标准化设计方法以及 BIM 一体化协同设计方法，最后在工程项目中集成为一个完整的设计成果，并实现其系统最优，这就是设计统筹的方法和目的。

关于建筑系统工程，举一个比较形象的例子如火车，如图 18-9 所示，过去传统的蒸汽机车和电力机车，是车头带动火车跑，这个不是系统工程。有点类似于过去我们发展装配式建筑，只重视结构的装配化，只靠结构单专业来拉动装配式建筑发展。或者曾经也只重视内装的工业化，只靠内装来拉动装配式建筑发展，都是不行的。装配式建筑的系统工程，应该是像动车一样，其所有的车厢都是有动力的控制单元，大家都在动，都在跑，而且步调一致，相互协同，这样才能跑得又快又稳。装配式建筑要搞好，我们的建筑、结构、机电、内装都需要有动力，都在往前走，而且步调一致，相互协同，这样才形成装配式建筑一体化的建筑系统。我们要用这样的方式来发展装配式建筑，如图 18-10 所示。

图 18-9　蒸汽机车、电力机车及动车

图 18-10　装配式建筑一体化的建筑系统

裕璟家园这个项目就是利用了上述建筑系统的理论和方法来进行设计统筹的。

本项目的设计统筹，有以下几个方面：

（1）明确一个目标。

（2）用好一个工具。

（3）做好两项工作。

（4）管好三个方面。

明确一个目标，就是明确目标和责任，是 EPC 管理的本质，EPC 管理需要在公司内部和整个联合体，构建一个利益共同体。如果设计和施工不成为一体的时候，设计统筹工作很难开展。所以我们的工程总承包实践，是真正想把设计和施工一体化，实现三个一体化，来践行这个理论和方法。我们尝试了让设计人员进入 EPC 管理团队，让设计人员和项目管理人员通过共同的目标责任，真正成为一体化的团队。

用好一个工具，就是用好 BIM。BIM 与装配式建筑是绝配，BIM 是这个时代发展装配式建筑、实现工业化与信息化融合发展的关键环节。BIM 能实现把设计信息与商务、工厂和现场各种有效信息的交互。用好 BIM 平台，对我们具有非常重要的意义。

做好两项工作，一个是设计的优化和标准化。设计费占总投资的比例一般不到 2%，但是它的对于工程造价的影响高达 70%，所以设计是关键因素。这个项目做了很多优化设计和标准化设计工作，设计利用系统工程方法，研究预制现浇组合如何性能更好、质量更优。结合立面和深圳气候特点去优化防水的构造，让防水性能能达到相关的标准等。另一个是合约规划，其关键在于招采内容的细分和目标成本的细分，这方面设计与商务的协同是至关重要的。本项目研发了 BIM 平台，可以实现了从设计的 BIM 模型直接导出工程量和工程造价，实现设计与造价员的适时交互，也是设计引领 EPC 工程总承包的体现。

管好三个方面，一是管好信息流向，让设计信息无损、完整、正确地传递到采购、生产、施工环节，建立起信息交互的手段、方法和机制是关键。二是管理好总承包方和各专业施工方，这方面设计参与管理，更能突出一体化的优势。三是管好部品部件供应，创新设计监理监造制度，设计人员

进入工厂和现场进行监理、监造，秉承“谁设计谁管理”的思路，保证构件按图生产，现场按图施工，并实现构件质量的全过程可追溯（如图 18-11、图 18-12）。这些措施，体现了设计统筹提高质量安全管理的重要性。

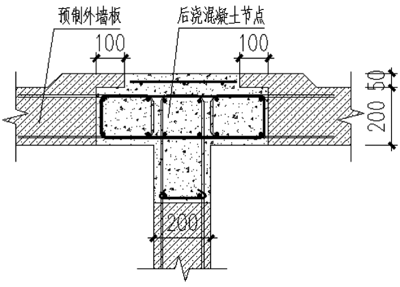


图 18-11　构件施工图一

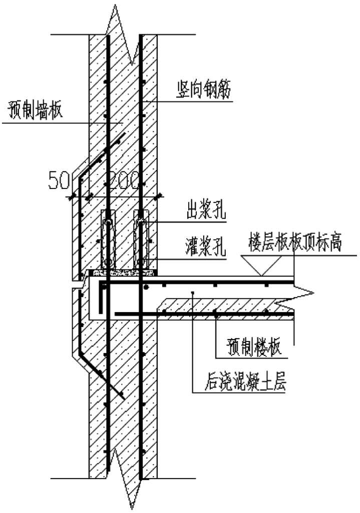


图 18-12　构件施工图二

此外，还有几点体会：

一是设计统筹要以确保质量安全为本，在本项目中，如何保证灌浆套筒质量是关键问题，我们采取了五大措施来保证其安全可靠：

（1）选用全灌浆套筒，实现无损连接；无论现浇还是预制，都需要进行钢筋的连接。传统工地习惯于采用螺纹连接（包括锥螺纹和直螺纹等），全灌浆套筒属于无损的机械连接，依靠工具简单套接即可，对技工拧螺丝的力道火候等技术要求较低，便于操作；灌浆套筒要求 100% 断在钢筋，比普通螺纹连接可以断接头的要求高，安全系数大。因此如果采用科学的管理

方法，全灌浆套筒质量更为可靠，如图 18-13、图 18-14 所示。

（2）工厂生产环节确保一垂直两通畅；现场质量通病一是预留钢筋与套筒对不上，二是对上后装不上，三是装上后灌浆孔不通畅。经过调研，找到其原因，采用三条措施解决：一是钢筋定位钢套板确保钢筋定位准确，并利用诱导钢筋便于定位，二是在工厂采取定位工装的方法确保套筒在构件中的垂直度，三是选用合格管材，并保证其布置角度（一般在管中轴 30 度范围内）。

（3）现场灌浆方法，坐浆 + 单灌；裕璟项目是采用的坐浆，并对单个套筒灌浆，如果每个套筒都是从上部流出浆料的话，肯定是饱满的，无需检测。

（4）采用平行实验法，确保选材合格；采取同批次套筒和灌浆料同步灌浆的做法，通过平行实验，确保套筒和灌浆料合格，如图 18-15 所示。

（5）电子旁站，全程有记录。通过部署电子眼，对全部灌浆过程全程录像，确保质量安全责任可追溯。

二是全过程进行设计统筹，项目从一开始的设计到最终的交付都有设计统筹在里面发挥作用。在 EPC 工程总承包中，设计是起点，也是终点，设计是基础也是成功的关键，要做真的 EPC，就要有真正的设计统筹。

三是建好 IBM 协同平台，十三五重点研发计划工业化建筑设计关键技术中，BIM 一体化协同设计平台放在

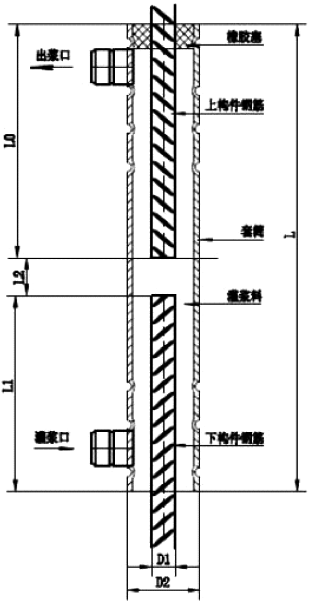


图 18-13　灌浆套筒是无损连接，套接简单

图 18-14　螺纹套筒要求拧螺钉的技术较高

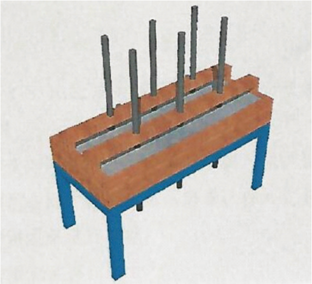
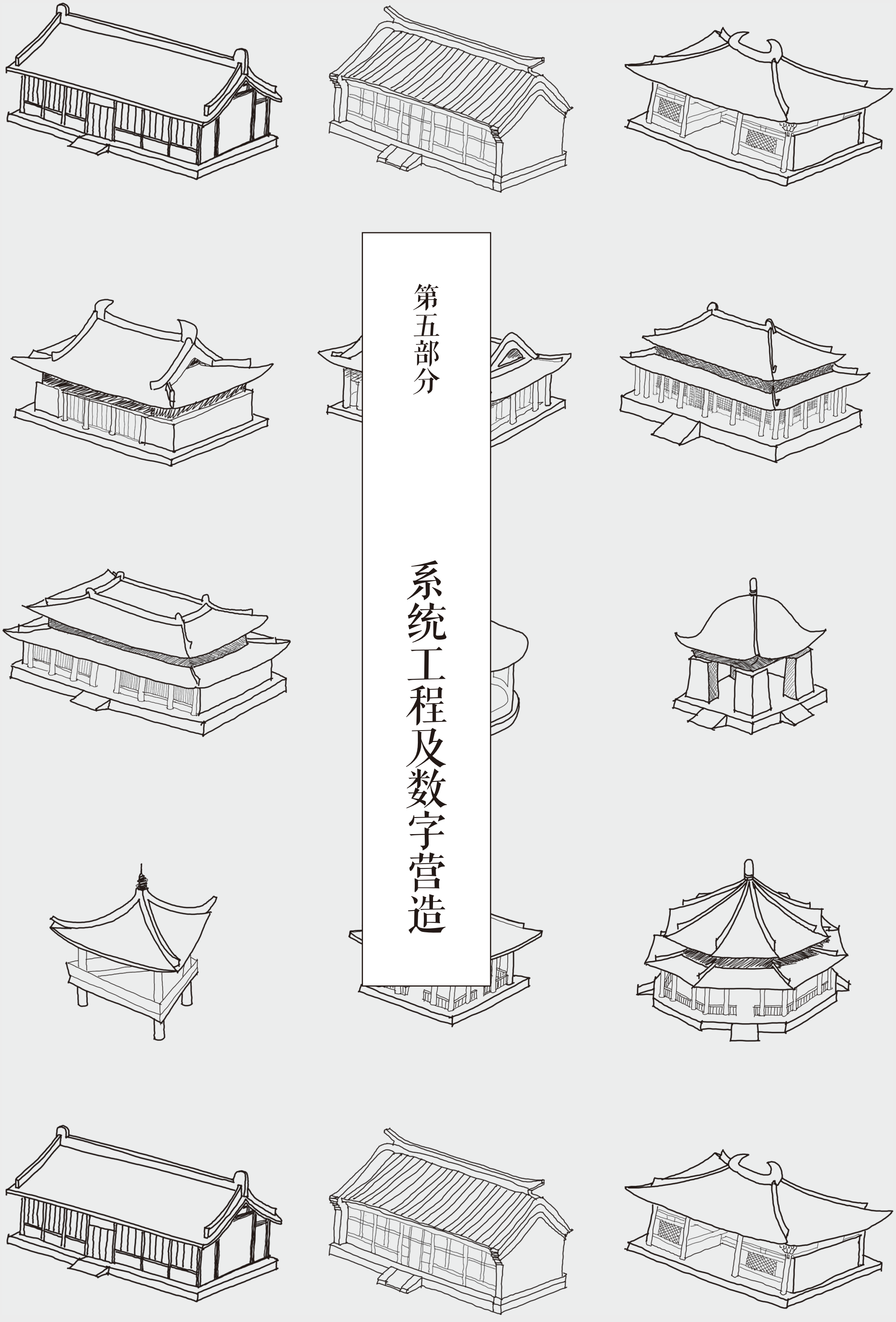


图 18-15　同步平行实验架

比较重要的位置，一开始就要建成使用。我们依托裕璟幸福家园项目用一年的时间将这个 BIM 协同平台建成了。协同平台分线下和线上两个部分，实现了模型的初步展示，生产施工环节的协同设计以及无单机作业服务器集成管理，统一服务的设计标准流程，保密管理和跨地域的协同设计等。

本 BIM 协同设计平台，基于中建科技的企业云，实现全员、全专业、全过程的三全 BIM 应用。在这个协同平台上，大家都是在一个共同的模型上工作，模型在统一的协同规则下，形成的信息可供全流程、全专业采集应用。通过模型可以看到所有的构件信息，每个构件都会有固定的编码、身份证和相应可用的信息。实现设计信息向采购、生产、施工、交付全产业链的流通与交互。

裕璟幸福家园项目，是我们探索建筑师牵头、设计参与 EPC 工程总承包管理的起点，但并不是终点。这些经验，将结合三个一体化的进一步实践和总结，结合装配式建筑系统工程集成设计方法的进一步完善，推动设计统筹在 EPC 工程总承包管理中发挥更多、更大的作用。



第五部分

系统工程及数字营造

○ 第十九讲 系统工程——装配式建筑系统工程理论初探

一、源起

在我国 2015 年的国民生产总值中，建筑业总产值达到 18.08 万亿元 ，占 GDP 近 27%，吸纳了超过 5000 万的从业人员，无论从 GDP 的贡献、就业容纳能力来看，建筑业都是无可争议的国民经济支柱产业。建筑的安全、质量和性能也是人类“衣食住行”的基本需要之一。建筑工业化在西方近一个世纪的现代化进程中发挥了重要作用并留下了众多传世精品。我国建筑行业虽然取得了举世瞩目的成就，但目前尚处于“以量取胜”阶段。反

观人类历史上农耕社会以手工业者为主导的制造文明中，装配式生产方式主导下的建筑业，基本都是当时最主要的手工制造业之一，创造了东方中国唐宋、明清建筑文明和西方希腊、罗马建筑文明乃至更为悠久的古埃及和两河流域建筑文明。从这个意义上来讲，我们的建筑行业虽然伴随着社会变革，进步很大，但同其他行业相比，在前三次产业革命的行业竞争中落后了！我们今天要大力发展建筑工业化，推进装配式建筑建造方式，需要分析落后的原因，找到应对的策略，从而引领我们前行的道路。

二、三次产业革命背景下的建筑业变革启示

第一次产业革命从 18 世纪开始，由蒸汽机的发明触发的这次革命，让人类进入了机械化时代，发展到 19 世纪初，诞生了现代建筑运动，并在 100 多年的时间促进了以工业化生产为特征的建筑生产方式，深刻地影响了“二战”以后的建筑发展方向。

第二次产业革命始于 19 世纪末，以标准化、电气化、自动化和规模化生产为特征，其对建筑业的影响更加全面，一方面强化了现代建筑运动对工业化生产的依赖和功能的新需求；另一方面也通过这场革命带来的钢和玻璃幕墙的结合、电梯的应用等，深刻影响并诱发了以高层建筑和摩天楼为特征的芝加哥学派的建筑实践，对现代高层建筑和摩天楼影响深远。

第三次产业革命真正的代表性标志是 20 世纪七八十年代个人计算机和互联网的发展，以计算机革命和信息革命为核心的社会全方位变革。在建筑领域影响了那些需要计算机辅助才能完成的复杂性建筑全面爆发式发展。其表征主要为：高（超高，多数在 300m 以上）、大（规模超大，规模在 30 万 m^2 以上，有的超过 100 万 m^2）、全（功能全，包含交通、商业、会展、

居住、办公等复合功能）、参数化（21 世纪以后，以数学模型驱动的新的建筑形式），并极大地提升了行业的设计建造水平。

以史为鉴，我国错过了参与前两次产业革命的机会，新中国成立以后的发展主要是以“追赶”为主。20 世纪 80 年代以前学习苏联，实现了部分的机械化和电气化。20 世纪 80 年代以后，由于改革开放，参与了第三次产业革命，但主要以“跟跑”为主，同时还要补上历史的欠账，进入了“机械化、电气化和信息化”并行发展的 30 年，综合了三次产业革命的所有要素，实现了中国制造在“数量”上对全球市场的垄断地位。这种“追赶”和“并行”的特征同样体现在建筑行业，从 20 世纪 80 年代初现代建筑理论和实践的引进，到世纪之交的摩天楼热，再到 2000 年以后中国成为“高大难建筑”和“参数化建筑”的试验田。建筑行业在“数量”和“形式”等方面已经成为世界主流，但“品质”和“内容”尤其是“中国创造”方面没能与产业革命同步，达到应有的国际水准。这是我国建筑行业工业化水平落后的基本面和大背景。

因此，发展装配式建筑，要高度重视产业革命对建筑行业的深远影响，要弘扬“向制造业学习”的“包豪斯精神”。让行业发展与产业基础深度融合，及时吸收产业革命的先进成果，真正推进行业变革和大发展。

三、装配式建筑三个一体化发展思想的提出

叶浩文先生关于装配式建筑“三个一体化”的论述中，提出了装配式建筑行业发展的几个关键问题：

（1）受传统行业划分的影响——建筑设计、加工制造、装配施工各自分隔，

技术及管理均呈现出“碎片化”的特征，急需统合。突出体现在设计不考虑工厂加工生产和现场装配施工的需要，导致工厂加工效率低、人工浪费，现场既有预制又有现浇，工序工艺复杂，人工减少和材料节省有限，质量和效率的提升不明显。

（2）受传统专业分工的影响——建筑、结构、机电设备、装饰装修各自发声，缺乏协同。首先，从供给侧来看，我国的建筑供应方式主要以“半成品”的模式提供给消费者，无法形成完整的工业化生产方式的供给。其次，重视“装配式结构”的研发，缺乏“装配式建筑”的整合。近几年的实践中暴露出的大多数装配式结构建筑的质量问题都发生在建筑围护系统、内装系统和机电设备系统的配合上。由于不能满足需求侧的使用要求，导致行业发展缓慢，甚至停滞。

（3）传统建设方式的影响——手工粗放、成本至上、寿命短、标准低，按照传统的施工总承包模式，无法从施工的末端引导前端的技术研发、设计和部品部件采购环节。应该建立国际通行的工程总承包模式，以管理、技术、市场一体化的责任主体统筹全链条，实现精益营造。

从有关研究成果来看，建筑业发展的主要矛盾为“系统性产品”与“碎片化要素”的矛盾。制约装配式建筑发展的关键是各种技术要素均处于“碎片化”状态，缺乏系统性的整合，其发展的核心是如何实现“系统性”问题。叶浩文先生针对此类问题，提出了“建筑、结构、机电、装修一体化；设计、加工、装配一体化和技术、管理、市场一体化”（简称 “三个一体化”）的系统解决方案。其核心思想是应将装配式建筑作为一个复杂的系统，以达到总体效果最优为目标，用系统集成的理论和方法，融合设计、生产、装配、管理及控制等要素手段，才能推进装配式建筑有质量、可持续的大发展。

“系统工程”是实现系统最优化的管理工程技术。发端于“二战”之后，

是“二战”后人类社会若干重大科技突破和革命性变革的基础性理论支撑和方法论。比如美国研制原子弹的曼哈顿计划和登月火箭阿波罗计划就是系统工程的杰作。我国两弹一星、运载火箭以及高铁等重大项目的成功，也是受惠于系统工程的理论和方法引入并结合了我国国情的需要。发展装配式建筑，要“向制造业学习”，首先应该向制造业一样建立起“系统工程”的理论基础和方法，将装配式建筑当作一个整体来研究和实践。

四、装配式建筑系统集成设计方法的要素简析

从时间、知识和逻辑三个系统要素上来看，装配式建筑是一个复杂的系统，其在时间维度上包括策划、设计、加工、装配、使用、更新等多阶段；在知识维度上包括建筑、结构、机电设备、装饰装修等多种专业；在逻辑维度上包括目标制定、指标设计、系统组合、系统分析、最优化、做出决定和制定方案等管理和技术集成步骤。按照上述“三个一体化”系统工程的发展思路，装配式建筑应该遵循建筑系统集成设计的基本方法。

在装配式建筑设计实践中要坚持“建筑系统”的方法论和系统集成的设计思维与工作模式。简言之：要将装配式建筑看作一个复杂的“系统”，建设对象是若干子系统的“集成”，设计需要“建筑系统集成的设计方法”，该方法要求充分把握好系统要素，注意建筑系统集成的若干要点：

（1）装配式建筑的系统工程研究应采用先决定整体、后进入部分的步骤。亦即先进行建筑系统的总体设计，然后再进行各子系统和具体问题的研究。

（2）装配式建筑的系统工程方法应该以整体最佳为目标，通过综合、系统的分析，利用信息化手段来构建系统模型，优化系统结构，使之整体最优。

（3）装配式建筑系统工程应做到近期利益与长远利益相结合，社会效益、

生态效益与经济效益相结合。

（4）装配式建筑系统工程应该综合集成各学科、各领域的理论和方法，实现专业间不同阶段的融合、跨界、集成创新。应该强调多学科协同，按照“系统工程”的要求组成一个专业配套度高，知识结构合理的共同体并采取科学合理的协同方式。

（5）装配式建筑的各类系统问题均可以采用系统工程的集成方法，本方法具有广泛的适用性。

（6）装配式建筑应该用数学模型和逻辑模型来描述系统，通过模拟反映系统的运行、求得系统的最优组合方案和最优的运行方案。

五、第四次产业革命的历史性机遇

三次产业革命对建筑业的影响历史告诉我们，人类历史上的科技和产业革命，是生产力的变革，必然引起生产方式的变革和社会关系的大变革。建筑业也同样不可能独善其身，无论其建造习惯有多么的根深蒂固，终将会被产业革命带来的新的生产方式所改变。

今天我们发展装配式建筑，是在以网络、大数据和人工智能为创新驱动的第四次产业革命背景下。毋庸置疑，这次产业革命会带来建筑业的又一场巨大变革。在这次产业革命中，数字建造和系统集成的建筑将成为主角。数字建造将会带来建筑的形式创新和系统创新，其中形式创新是建筑由外而内的参数化表达，而系统创新是由内而外的系统化生成，它们都要通过数字化的设计、生产和建造来加以实现。

要厘清一个概念：“参数化建筑”不等于“数字建造”。虽然“参数化建筑”已经成功地演变为当代建筑形式创新的一种潮流。但这些仅仅通过“参数

化表皮”来表现的建筑，除了表皮的建造方式有所变化，其内在的结构系统、机电设备和内装系统并没有什么新意。因此，仅有参数化的外部形式不是发展的终点，未来需要进化出很多“系统性建造的参数化建筑”（简称“参数化系统”）。此外，还应明确参数控制仅仅是数字建造的方法之一，其他基于模数、模块和精益化接口的模块系统；基于系统性集成的巨构系统等，都可能会成为数字建造的发展方向，如图 19-1 所示。

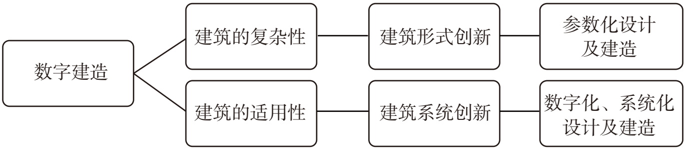


图 19-1　数字建造的两个维度

“工业制造 2025”战略，标志着中国全面参与到第四次产业革命浪潮之中。有别于过去的“追赶”，这一次依靠我国雄厚的产业基础和全球领先的网络、大数据和人工智能科技，实现了“并跑”，为数字化的系统性建造提供强大的产业基础支持。总之，第四次产业革命是我国建筑行业实现“跨越式发展”的绝佳机会，要坚定目标，抓住机遇，用建筑系统工程理论，指导数字建造的全面实践，实现数字化智慧集成建造关键技术的创新和突破，打造自主知识产权的革命性的设计与建造方式，努力实现建筑行业的“中国制造 2025”！

○ 第二十讲

数字营造——『互联网+』时代的建造方式

世界上每一次重大的产业革命，都会对建筑业产生革命性的影响，并推动其发生深刻变革。迄今，人类社会的历史已经经历了以工业化、电气化、信息化和智能化为标志的四次“产业革命”，上一讲已介绍过。

迈入 21 世纪的第二个十年，我们处在“互联网、大数据、人工智能”的第四次产业革命新时代，科技产业和人类生活的很多方面、很多领域都发生了“颠覆式的全新革命”。这一轮产业革命的核心是智能化与信息化，体现出高度灵活、人性化、数字化的产品设计、生产与服务模式。它将数字技术、物理技术、生物技术有机融合在一起迸发出强大的力量影响着经济和社会。一些新的技术如数字化身份、物联网、3D 打印、人工智能、机器

人、智慧城市等，必将对人类社会产生深刻的革命和影响。这些影响必将促使建筑行业向着数字化、信息化、智能化、系统性集成建造的方向发展，也必将因此而产生越来越多高质量、高性能、绿色健康的建筑产品。

我国由于历史上众所周知的原因，错过了前三次产业革命的发展机会。新中国成立以来经过几代人的努力，在当今的互联网、大数据、人工智能等高端前沿科技及其应用方面，已经处于世界先进国家之列。而建筑业由于历史欠账太多，发展水平和基础相对比较薄弱，与先进的建筑工业化国家相比，尚处于工业化的初级阶段。以德国工业 4.0 的阶段对标，可能仅相当于其工业 1.5~2.0 的阶段。由此可见，虽然我国的建筑总量早已领先全球，但距离世界建筑强国还有很大的差距。

因此，今天发展装配式建筑，要将目标定位在“中国制造 2025”的高度，全面吸收工业化、工业自动化、信息化和互联网 + 人工智能时代的先进科学技术。并将智能建造作为中国建筑实现全方位超越、引领世界建筑行业发展的重要战略方向。

“智能建造”应该融合设计、采购、生产、施工、使用的全过程，突破传统点对点、单方向的信息传递方式，实现全方位、交互式的信息传递。要打造数字信息的载体，支撑设计、商务、生产、施工、运维全过程的信息传递和交互。智能建造至少应该包括以下几个方面：

一、数字设计

应该通过 BIM 一体化协同设计平台，支持“全员、全专业、全过程”的三全 BIM 应用，建筑、结构、机电、内装、造价等专业在平台实现高效协同，

并提供模块化、轻量化的数字信息模型。该模型集成相关信息，构建模块化的构件库、部品库和资源库。支持将设计、生产、施工、供应商等资源结合在一起，实现全过程的协同，优化资源配置，如图 20-1 所示。

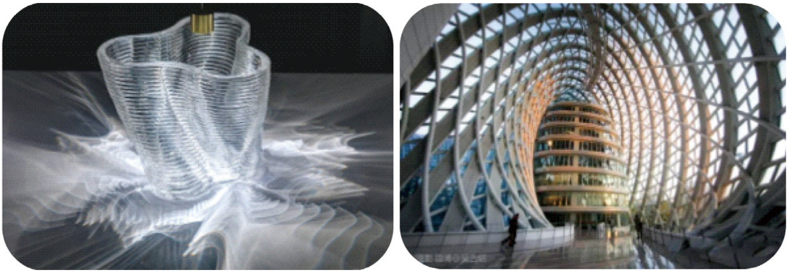


图 20-1　数字设计

二、云端采购

云端采购应包括 BIM 算量造价管理以及同互联网采购平台、物联网实施平台的互联互通。系统不仅支持基于 BIM 模型自动完成工程算量。还可以通过互联网和物联网选择合适的供应商、集采、实名制管理等，如图 20-2 所示。

图 20-2　云端采购

三、智能工厂

智能化的预制构件工厂能提供工厂的智能化装备（如机器人、机械手臂等）能够“读懂”的信息，减少信息的传递环节，实现高效、智能、自动化的生产，并支撑定制化产品需求的供给，如图 20-3 所示。

四、智慧工地

智慧工地从进度、成本、安全、质量四个部分实现信息管理。主要是通过 BIM 轻量化模型与现场的进度安排和施工组织进行关联，实现进度形象可视、成本控制精确、质量问题可追溯、安全监控实时等，如图 20-4 所示。

五、产品集成展示及运维平台

智能建造的产品除了实体空间，应该还提供一个智能化虚拟的“幸福空间”。融入绿色建筑、健康建筑、智能建筑的全新技术，一方面，提供一个智能化的“住宅使用说明书”，让居住者更加轻松愉悦地感受到自己居住空间的全部信息，便于使用和物业维护。另一方面，还可以提供包括安防监控、

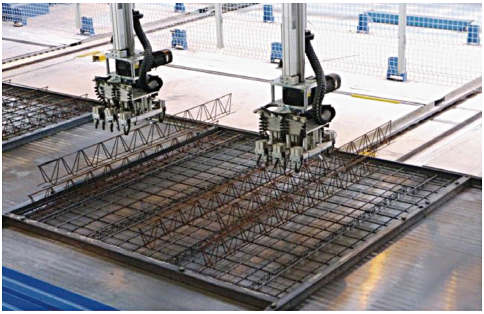


图 20-3　智能工厂的机械手

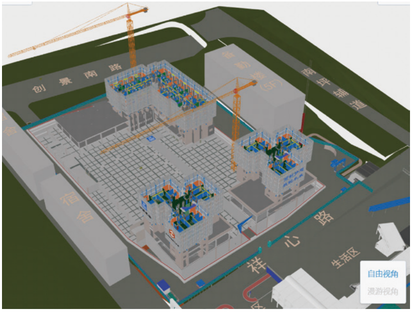


图 20-4　智慧工地的虚拟工地

家居设施远程控制、室内空气监测、照度感应控制、定时及场景控制、感应遮阳系统等智能家居控制及信息交互等功能，支持住户良好的使用体验。

总之，发展装配式建筑是新型城镇化和供给侧结构性改革的国家战略，我们从业者应该以此为契机，从“数字营造，智筑未来”的定位高度，通过数字设计、互联网采购、智能生产、智慧建造，最终实现绿色、健康、智能的建筑产品的高品质供给，提升建筑科技水平，引领全行业从中国建造到中国智造，跟上其他优势行业的步伐，助力我国建筑行业从最大到最强。

参考文献

[1] 梁思成 . 营造法式注释 [M]. 北京：生活・读书・新知三联书店， 2013.

[2] 梁思成 . 从拖泥带水到干净利索 [N]. 人民日报，1962- 9-9.

[3] 林衍 . 惊人！建筑垃圾产生量每年都像发生过大地震 [N]. 中国青年报，2010-05-13.

[4] 清华大学 BIM 课题组 . 中国建筑信息模型标准框架研究 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

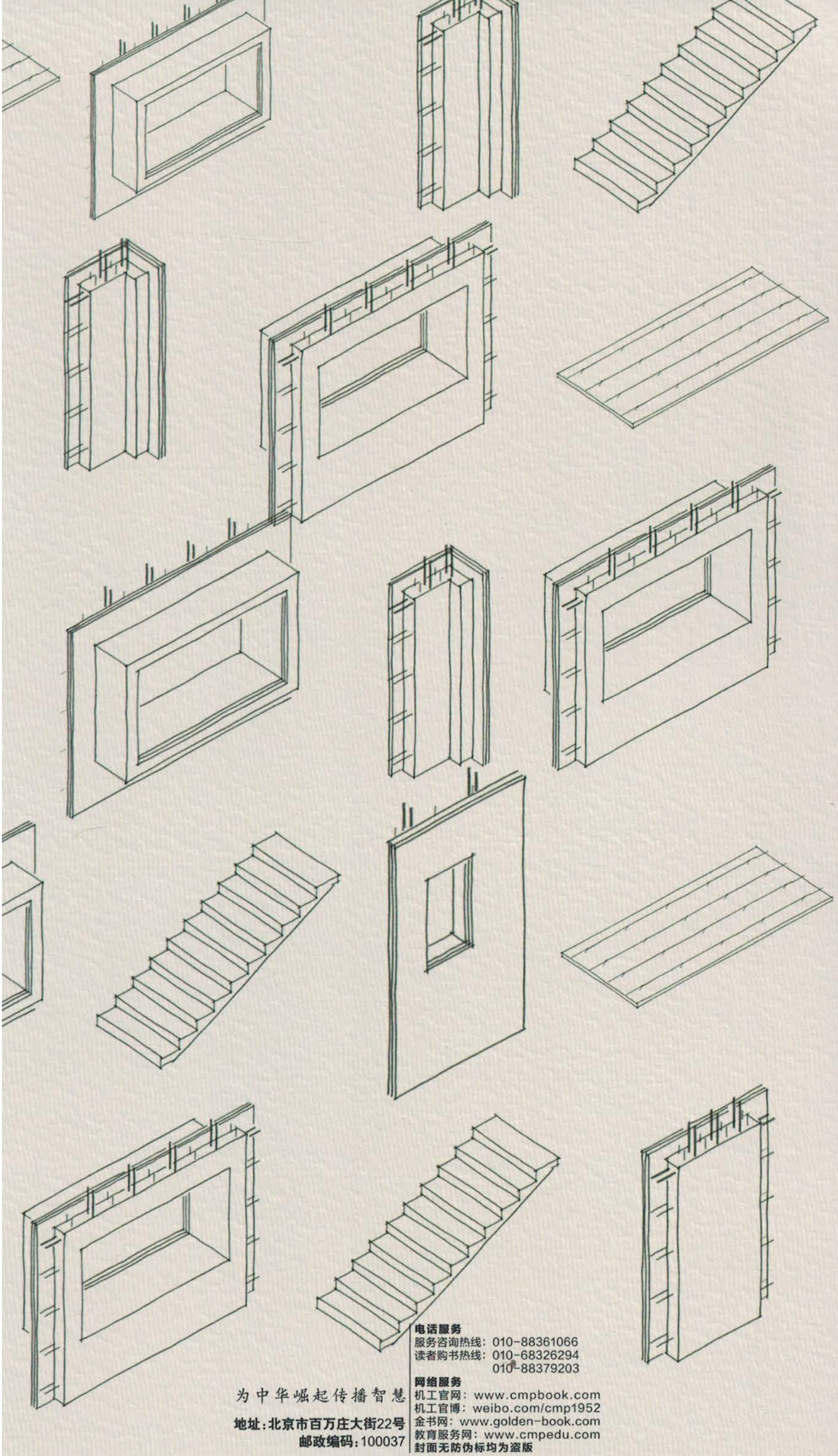
[5] 清华大学 BIM 课题组，互联立方（isBIM）公司 BIM 课题组・设计企业 BIM 实施标准指南 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.

[6] 何关培 . BIM 总论 [M]. 北京：中国建筑工业出版社 ，2011.

[7] 姬丽苗，张德海 . 建筑产业化与 BIM 的 3D 协同设计 [J]. 土木建筑工程信息技术，2012, 4(4): 41-42.

[8] 梁思成 . 中国建筑史 [M]. 天津： 百花文艺出版社，2005.

[9] 张镈 . 回顾与前瞻——国庆随想 [J]. 建筑学报，1984, (9): 6-9.



为中华崛起传播智慧

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037

电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203

网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

策划编辑：赵荣
封面设计：匠人加科技

樊则森

一级注册建筑师，中建科技总建筑师，十三五国家重点课题“工业化设计关键技术”项目牵头人，中国建筑学会青年建筑师奖获得者。新世纪中国装配式建筑领域资深建筑师之一。

本书是作者结合设计研究装配式建筑10年，累计300万余平方米实战项目的经验总结，是由一线建筑设计师完成的“装配式建筑设计+实践类”书籍；

本书开辟了装配式建筑新的视角与设计观，启发不仅限于设计的角度；内容包含“装配式建筑溯源、标准化设计、装配式+、从设计到建成、系统工程及数字建造”五个方面，围绕建筑工业化的“20个核心主题”；结合大量的设计案例精讲，带你轻松解构建筑工业化系统的设计方法。

匠人工学院 系列丛书

关于建筑工业化，你想知道的都在这里

建筑的工业化思维
装配式建筑职业经理人的入门课
张博为 著

从组织到建成
装配式建筑施工理论及经典案例
张海松 著

从技术到建成
装配式建筑关键技术的正确应用
谷明旺 著

建筑幕墙观
装配式幕墙建造原理及实践
巫震宇 著

设计奋晃

机械工业出版社微信公众号

上架指导 建筑设计

ISBN 978-7-111-60235-4
9 787111 602354
ISBN 978-7-111-60235-4
定价：59.00元